Handbuch der mikroskop. Technik

unter Mitwirkung von

Kreisarzt Dr. E. Beintker, Vorsteher des Medizinal-Untersuchungsamtes in Düsseldorf (Bakteriologische-Technik) — Dr. J. Donau, Graz (Mikrochemische Technik) — Hanns Günther, Zürich (Das Mikroskop und seine Nebenapparate) — Oskar Heimstädt, Wien (Technik des Ultramikroskops und der Dunkelfeldbeleuchtung) — Professor Dr. C. Kaiserling, Königsberg (Mikrophotographie) — C. Leiss, Berlin-Steglitz (Das Polarisationsmikroskop und seine Nebenapparate) — Dr. Ad. Reitz, Stuttgart (Bakteriologische Technik) — Dr. R. Sachse, München (Kulturmethoden für Mikroorganismen) — Dr. H. Schneiderhöhn, Berlin (Mineralogische Mikroskopie) — Professor Dr. F. Sigmund, Teschen (Botanische Mikrotechnik) — Dr. Georg Stehli, Stuttgart (Mikrotomie) — Dr. G. Steiner, Zürich (Technik der Hydrobiologie und Planktonkunde) — Oberlehrer F. P. Wimmer, München (Mikroprojektion) — Dr. E. Wychgram, Kiel (Mikrospektroskopie) u. A.

herausgegeben von der

Redaktion des „Mikrokosmos"

Apparate und Arbeitsmethoden zur mikroskopischen Untersuchung kristallisierter Körper /

Von

C. Leiß und Dr. H. Schneiderhöhn



1914

Geschäftsstelle d. „Mikrokosmos" Franckh'sche Verlagshandlung, Stuttgart



Handbuch der mikroskopischen Technik

X. Teil

Apparate und Arbeitsmethoden zur mikroskopischen Untersuchung kristallisierter Körper

Handbuch
der
mikroskopischen Technik

unter Mitwirkung
von

Kreisarzt Dr. C. Beintker, Vorsteher des Medizinal-Untersuchungsamtes in Düsseldorf (Bakteriologische Technik) — Dr. J. Donau, Graz (Mikrochemische Technik) — Hanns Günther, Zürich (Das Mikroskop und seine Nebenapparate) — Oskar Heimstädt, Wien (Technik des Ultramikroskops und der Dunkelfeldbeleuchtung) — Prof. Dr. C. Kaiserling, Königsberg (Mikrophotographie) — C. Leiß, Berlin-Steglitz (Das Polarisationsmikroskop und seine Nebenapparate) — Dr. Adolf Reitz, Stuttgart (Bakteriologische Technik) — Dr. R. Sachse, München (Kulturmethoden für Mikroorganismen) — Dr. H. Schneiderhöhn, Berlin (Mineralogische Mikroskopie) — Prof. Dr. F. Sigmund, Teschen (Botanische Mikrotechnik) — Dr. G. Stehli, Stuttgart (Mikrotomie) — Dr. G. Steiner, Zürich (Technik der Hydrobiologie und Planktonkunde) — Oberlehrer F. P. Wimmer, München (Mikroprojektion) — Dr. E. Wychgram, Kiel (Mikrospektroskopie) u. A.

herausgegeben
von
der Redaktion des „Mikrokosmos"

X.

Apparate und Arbeitsmethoden zur mikroskopischen Untersuchung kristallisierter Körper

von

C. Leiß und Dr. H. Schneiderhöhn

1914

Geschäftsstelle des „Mikrokosmos": Franckh'sche Verlagshandlung, Stuttgart

Apparate und Arbeitsmethoden zur mikroskopischen Untersuchung kristallisierter Körper

Von

C. Leiß und Dr. H. Schneiderhöhn

Mit 115 Abbildungen



1914

Geschäftsstelle des „Mikrokosmos“: Franckh'sche Verlagshandlung, Stuttgart

Inhalt.

Durchsichtige Körper.

Undurchsichtige Körper.

Vorwort.

In der vorliegenden Arbeit haben die Verfasser versucht, die wichtigsten instrumentellen Hilfsmittel und Methoden zur mikroskopischen Untersuchung kristallisierter Körper in kurzer, möglichst leicht faßlicher Form zu erläutern. Daraus geht bereits hervor, daß unser Buch nicht für Fachgelehrte geschrieben ist, für die schon zahlreiche Lehrbücher des in Frage kommenden Gebiets existieren. Dagegen fehlt in der vorhandenen Literatur ein Werk, das auch dem ernst arbeitenden Liebhaber-Mikroskopiker, dem Lehrer und dem Sammler von Mineralien als Leitfaden beim Studium mineralogischer Fragen mit Hilfe des Polarisations-Mikroskops dienen könnte. Diesem Mangel soll unsere Arbeit nach Möglichkeit abhelfen. Sie ist in erster Linie für die zahlreichen Leser des „Mikrokosmos"[1]) geschrieben, dessen Redaktion die Anregung zu ihrer Abfassung gab. Die Verfasser würden sich jedoch sehr freuen, wenn ihr Buch auch im mineralogischen Unterricht an höheren Lehranstalten oder gar in den Praktika der Universitäten und Hochschulen, sowie bei der Vorbereitung zu Prüfungen in der Mineralogie einige Dienste leisten könnte, da die auf möglichste Verständlichkeit abgestellte Behandlung des Stoffes die Arbeit dafür besonders geeignet erscheinen läßt.

Das behandelte Stoffgebiet ist in fünf Teile gegliedert worden, von denen die drei ersten die wichtigsten Instrumente zur mikroskopischen Untersuchung kristallisierter Körper besprechen und die Herstellung von Mineral- und Gesteinspräparaten, wie sie zur mikroskopischen Untersuchung erforderlich sind, erläutern. Im vierten und fünften Teil sind die Untersuchungsmethoden in systematischer Folge aufgeführt.

Wenn es unserer Arbeit gelingen sollte, für das in ihr behandelte Stoffgebiet neue Anhänger und Mitarbeiter zu werben, so hat sie ihren Zweck vollauf erfüllt. Wer sich sodann über ein bestimmtes Teilgebiet eingehender unterrichten will, wird in den Literaturangaben entsprechende Werke finden. Er sei auch auf das auf S. 91 gegebene Literatur-Verzeichnis aufmerksam gemacht, in dem die wichtigsten Lehrbücher aus dem Gebiet der physikalischen Kristallographie und der mikroskopischen Physiographie der Mineralien zusammengestellt sind.

[1]) „Mikrokosmos", Zeitschrift für praktische Arbeit auf dem Gebiet der Naturwissenschaften mit besonderer Berücksichtigung der mikroskopischen Technik, vereinigt mit der „Zeitschrift für angewandte Mikroskopie und klinische Chemie"; Stuttgart, Franckhsche Verlagshandlung, jährlich 12 Hefte und 2 Buchbeilagen nach Art des vorliegenden Werkes für M 5.60.

Steglitz, Berlin, im Frühjahr 1914.

C. Leiß.
H. Schneiderhöhn.

Die Apparate zur mikroskopischen Untersuchung kristallinischer Körper

von

C. Leiß.

Erster Teil: Bau und Behandlung der mineralogischen Mikroskope und deren Nebenapparate.

Erstes Kapitel. Allgemeines.

Ein zum Studium von Mineralien dienendes Mikroskop muß außer den allgemein üblichen Einrichtungen, die hier als bekannt vorausgesetzt werden, noch Vorrichtungen besitzen, mit deren Hilfe man aus der Messung der Kantenwinkel, der Bestimmung der Hauptschwingungsebenen, der Größe und des Charakters der Doppelbrechung, der Beobachtung der optischen Achsen ein- und zweiachsiger Mineralien und der Messung des Achsenwinkels auf die Zugehörigkeit des zu untersuchenden kristallisierten Stoffes zu einem bestimmten Kristallsystem schließen kann. Zur Ausführung dieser Untersuchungen muß

1. das Mikroskop mit einer Polarisations-Einrichtung, bestehend aus zwei Polarisations-Prismen (S. 10), dem Polarisator und dem Analysator, ausgerüstet sein;

2. muß sich das zu untersuchende Objekt zwischen den beiden Polarisations-Prismen befinden und sich entweder in seiner Ebene um die feststehenden zueinander gekreuzten Polarisations-Prismen zentrisch drehen lassen, oder die beiden polarisierenden Vorrichtungen müssen in gegenseitig unveränderlicher Stellung (gekreuzt) um das fest liegende Objekt gemeinsam gedreht werden können. In beiden Fällen muß sich der Winkel, um den das Objekt bzw. die polarisierenden Prismen gedreht wurden, an einem Teilkreis ablesen lassen. Entweder muß also der drehbare Objekttisch oder die Dreh-Vorrichtung für die beiden Polarisations-Prismen eine Teilung besitzen;

3. müssen die Okulare mit Kreuzfäden ausgerüstet sein, deren Richtungen mit den Hauptschwingungsebenen der beiden Nicols genau zusammenfallen;

4. muß, wenn der Objekttisch des Mikroskops, wie dies in den meisten Fällen zutrifft, drehbar ist, dieser oder besser das Objektiv zentrierbar sein, da sonst eine zentrale Drehung irgend eines Punktes im Objekt, besonders unter Anwendung stärkerer Vergrößerungen kaum erreichbar ist. Das Zentrieren fällt dagegen fort, wenn beide Nicols gemeinsam und mit dem die Schwingungsrichtungen angebenden Fadenkreuz-Okular gedreht werden können.

Zweites Kapitel. Polarisierende Vorrichtungen.

Neben den Polarisations-Vorrichtungen, die auf der Polarisation durch Reflektion an einer ebenen Glasplatte oder auf der Anwendung von Turmalin-Platten beruhen, werden bei Polarisations-Mikroskopen nur solche benützt, die mit Hilfe von Kalkspat konstruiert sind. Alle Polarisations-Vorrichtungen bewirken eine völlige Trennung der ordentlichen (o) und außerordentlichen (e) Strahlen, so daß nur eine der beiden Strahlen-Gattungen auszutreten vermag oder direkt beobachtet werden kann. Die Wahl einer polarisierenden Vorrichtung ist ganz von dem besondern Zweck, dem sie dienen soll, abhängig. Als polarisierende Prismen, die in Apparaten, bei denen konvergierendes oder divergierendes Licht zur Anwendung gelangt, benützt werden sollen, kommen im allgemeinen nur die von Nicol (Abb. 1), Hartnack-Prazmowski und Glan-Thomson an-

gegebenen Konstruktionen in Betracht. Das Gesichtsfeld schwankt bei diesen zum Teil inzwischen modifizierten Konstruktionen je nach der Lage des Schnittes zur Hauptachse zwischen 20° bis 30°. Je geringer die Neigung des Schnittes gegen die Längsachse ist, desto größer ist der Öffnungswinkel. Mit der Größe des Gesichtswinkels wächst demnach auch die Länge des Prismas; das ist in vielen Fällen von nachteiliger Wirkung.

Die von Foucault und P. Glan angegebenen Konstruktionen, bei denen die beiden Prismen-Hälften nicht miteinander verkittet, sondern durch eine Luftschicht voneinander getrennt sind, eignen sich nur zum Gebrauch bei Beobachtungen im parallelen Licht. Beide Prismen besitzen einen Öffnungswinkel von nur etwa 8°.

Die Ahrens'sche Prismen-Kombination besteht im Grunde genommen aus nichts anderem als aus zwei mit senkrechten Endflächen versehenen und nebeneinander gekitteten Prismen-Kombinationen Glan-Thomsonscher Konstruktion nur mit dem Unterschied, daß man die Vorrichtung nicht aus 4, sondern aus 3 Teilen herstellt. Abgesehen von der Schwierigkeit der Herstellung einer derartigen Konstruktion wird dazu verhältnismäßig viel Kalkspat verbraucht, und eine polarisierende Vorrichtung dieser Art, die z. B. die vollständige Ausnützung eines großen Abbeschen Beleuchtungs-Apparats gewährleistet (S. 19), stellt einen sehr beträchtlichen Wert dar. Die Anwendung der Ahrensschen Prismen-Kombination empfiehlt sich besonders dort, wo eine möglichst große Öffnung bei nicht zu großer Länge des Polarisations-Prismas gewünscht wird, wie dies z. B. bei einigen auf S. 19—20 beschriebenen Mikroskopen der Fall ist.

Abb. 1.
Schnitt durch eine Nicolsche Prismen-Kombination.
ss = verkittete Trennungsfläche beider Teilprismen, L = eintretender Strahl, Le = durchgehender außerordentlicher Strahl, Lo = reflektierter ordentlicher Strahl.

Wirkungsweise des Nicolschen Prismas.[2]) Jeder Lichtstrahl, der in einen doppeltbrechenden Kristall nicht parallel zu seiner optischen Achse eintritt, wird in zwei geradlinig polarisierte Strahlen zerlegt, die sich mit verschiedener Geschwindigkeit fortpflanzen. Die Ebenen, in denen die Schwingungen erfolgen, stehen dabei stets senkrecht aufeinander. Gelingt es, den einen dieser beiden Strahlen zu entfernen, so wird das aus der doppeltbrechenden Kristallplatte ausgetretene Licht nur in einer Ebene polarisiert sein. Nicol hat dies bei der nach ihm benannten Prismen-Kombination dadurch erreicht, daß er ein längliches Kalkspat-Spaltungsstück in der Richtung der kürzeren Diagonale durchschnitt und die beiden Hälften wieder in richtiger Lage durch Kanada-Balsam aneinander kittete. Abb. 1 zeigt den Verlauf der beiden Strahlen-Gattungen in einem solchen Nicolschen Prisma. Der eintretende Strahl (L) zerfällt in die beiden senkrecht zu einander polarisierten Strahlen e und o, von denen der letztere an der aus Kanada-Balsam hergestellten Grenzschicht (ss) total reflektiert und an den matt geschliffenen und geschwärzten Seitenflächen des Prismas absorbiert wird[3]). Der andere Strahl (e), der ein dem Kanada-Balsam näher liegendes Lichtbrechungs-Vermögen $n_D = 1 \cdot 4865$ besitzt und auch unter größerem Winkel auf die Grenzfläche (ss) auftrifft, tritt in die zweite Prismenhälfte ohne Ablenkung ein und verläßt diese zweite Hälfte in der Richtung des eintretenden Strahles L. Das Nicolsche Prisma liefert also in einer Ebene polarisiertes Licht, dessen Schwingungsebene die des Strahles e) ist.

Sieht man durch zwei hintereinander gehaltene Nicols, deren Schwingungsebenen parallel zueinander verlaufen, gegen eine Lichtquelle, so erscheint das Gesichtsfeld hell, denn die geradlinig polarisierten Strahlen, die aus dem der Lichtquelle am nächsten stehenden

[2]) Man bezeichnet im allgemeinen die Nicolsche Prismen-Kombination kurzweg als „Nicol" oder als „Nicolsches Prisma".

[3]) Nach dem Vorgang von W. v. Ignatowsky empfiehlt es sich bei Nicols, die starker Erwärmung ausgesetzt sind, die Fläche des einen Prismas, auf die die zu beseitigenden, im vorliegenden Falle also die ordentlichen Strahlen (o) fallen, zu polieren, sodaß sie nicht mehr wie gewöhnlich von einer matten und geschwärzten Fläche absorbiert werden, sondern durch ein an die polierte Fläche angekittetes Prisma austreten können. Bei dieser Modifikation kann eine schnelle und heftige Erwärmung des Prismas, worunter häufig die Kittschicht zu leiden hat, nicht eintreten. F. Lippich, der schon früher ein derartiges Polarisationsprisma vorgeschlagen und angewendet hat, verfolgte damit einen anderen Zweck, nämlich die Vermeidung störender Reflexe durch die auf die sonst mattierte Seitenfläche fallenden Strahlen.

Nicol — dem Polarisator — austreten, gehen bei Parallelstellung ohne eine weitere Veränderung durch den zweiten Nicol — den Analysator — hindurch. Wird letzterer aber gedreht, so erfährt jeder Strahl eine Spaltung in zwei senkrecht zueinander polarisierte Strahlen, von denen nur der eine durch den Analysator hindurch gelassen, der andere aber durch totale Reflektion seitlich abgelenkt wird. Erreicht die Drehung den Winkel von 90°, so sind die Polarisationsebenen rechtwinkelig gekreuzt; die Strahlen erfahren dann beim Eintreten in den Analysator überhaupt keine Spaltung, sondern werden sämtlich abgelenkt und gelangen nicht mehr in das Auge des Beobachters. Bei einer Drehung des Analysators um 360° tritt also zweimal Parallelstellung und zweimal rechtwinklige Kreuzung der Polarisationsebenen ein.

Drittes Kapitel. Orthoskopische und konoskopische Anordnung.

Bei der mikroskopischen Untersuchung kristallisierter Stoffe ist man genötigt, sich fortgesetzt und in wechselnder Folge zweier recht verschiedener Beobachtungsmethoden zu bedienen, der orthoskopischen und der konoskopischen. Bei der orthoskopischen Methode betrachtet man das Objekt, wie bei den gewöhnlichen mikroskopischen Arbeiten, vergrößert; man bezeichnet dieses Verfahren auch als Beobachtung in parallelem polarisierten Licht. Bei der konoskopischen Methode hingegen ist das Mikroskop in eine

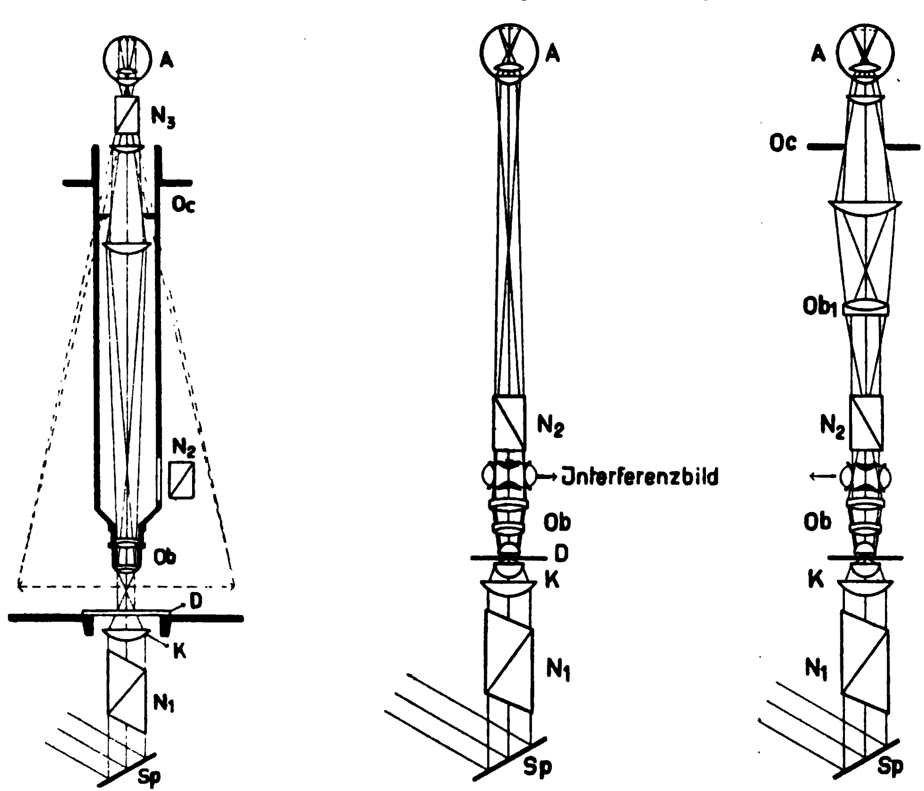


Abb. 2. Strahlengang in einem mineralogischen Mikroskop (orthoskopische Beobachtung.
Sp = Spiegel, N_1 = Polarisator-Nicol, K = Kondensorlinse, D = Dünnschliff (Objekt), Ob = Objektiv, N_2 = Analysator (ausgeschaltet), Oc = Okular, N_3 = Analysator, A = Auge.

Abb. 3. Strahlengang bei der Beobachtung von Interferenzbildern in konvergentem Licht (konoskopische Beobachtung).
Sp = Spiegel, N_1 = Polarisator, K = 2- oder 3gliedriger Kondensor für konvergentes Licht dicht unter dem Präparat, D = Dünnschliff (Objekt), Ob = Objektiv, Interferenzbild, N_2 = Analysator.

Abb. 3a. Lasaulxsche Methode: Man betrachtet das Interferenzbild direkt mit dem Auge A.

Abb. 3b. Amici-Bertrandsche Methode: Zwischen dem Auge A und dem Objektiv Ob bzw. dem Analysator N_2 ist noch ein schwach vergrößerndes Hilfsobjektiv, bestehend aus der Amici-Bertrandlinse Ob_1 u. dem Okular Oc eingeschaltet.

Art Polarisations-Instrument für Untersuchungen in konvergentem, polarisiertem Licht zur Beobachtung von Interferenzfiguren umgestaltet.

Der Verlauf der Lichtstrahlen bei diesen beiden Methoden[4]) wird durch die Abb. 2 und 3 erläutert. Im ersten Fall (Abb. 2) haben wir den normalen Strahlengang im Bildmikroskop; im zweiten Fall (Abb. 3) beobachtet man im polarisierten Licht ein in der hinteren Brennweite des Objektivs Ob (Abb. 3) entstehendes Interferenzbild (Achsenbild). Diese Beobachtung kann entweder direkt (Lasaulxsche Methode; Abb. 3a) bei herausgezogenem Okular mit bloßem Auge oder mit Hilfe einer zwischen der Brennebene des Objektivs und dem Beobachtungsokular aus- und einschaltbar angeordneten Linse, der sogenannten Amici-Bertrandschen Linse geschehen (Amici-Bertrandsche Methode; Abb. 3b). Diese Linse bildet mit dem zugehörigen Okular ein zusammengesetztes Mikroskop von schwacher Vergrößerung, mit dem man das in der hinteren Brennebene des Objektivs entstehende Interferenzbild beobachtet. Die nach der einfacheren und bei vielen Petrographen besonders beliebten Lasaulxschen Methode beobachteten Interferenzbilder sind zwar sehr klein, aber von großer Helligkeit und Schärfe. Bei den von sehr kleinen oder lichtschwachen Mineral-Einschlüssen herrührenden Interferenzfiguren wird man sich deshalb selbst bei einem Mikroskop, das mit der vorerwähnten Bertrandschen Hilfslinse versehen ist, häufig der Lasaulxschen Methode bei der Beobachtung der Interferenzfiguren bedienen.

Sowohl bei der orthoskopischen als auch bei der konoskopischen Beobachtung sind einige Hinweise hinsichtlich derjenigen Vorrichtungen, die zur Beleuchtung des Präparats dienen, von Wichtigkeit. Der Kalkspat, aus dem die Nicols hergestellt werden, ist ein sehr wertvolles Material. Man verwendet deshalb bei Polarisations-Mikroskopen Nicolsche Prismen einer Größe, die noch zu erschwinglichen Preisen hergestellt werden können und mit dem Zweck des Instruments ohne sonderliche Nachteile vereinbar sind. Die als Polarisator dienenden Prismen haben in der Regel eine freie Öffnung von etwa 10 bis 12 mm. Es wäre deshalb zwecklos, über dem Polarisator ein Kondensor-System von der gleichen Größe anzubringen, die man bei den zu histologischen Zwecken bestimmten Mikroskopen allgemein findet, denn das darunterliegende Nicolsche Prisma würde die Eintritts-Öffnung des großen Kondensor-Systems doch bedeutend verringern und dadurch nie die vollwertige Ausnutzung eines solchen Kondensors gestatten. Von diesem Gedanken ausgehend, hat man die Größe der Kondensoren bei Mikroskopen, die speziell für mineralogische Studien bestimmt sind, der jeweiligen Öffnung des Polarisator-Nicols angepaßt. Demgemäß sind die Kondensoren der gebräuchlichen Polarisations-Mikroskope wesentlich kleiner als die der gewöhnlichen Mikroskope, bei denen der Öffnungswinkel des Kondensors den zur Verwendung gelangenden Objektiven entsprechen muß.

Der einzige, in der Praxis aber nicht allzusehr fühlbare Nachteil dieser kleinen Kondensoren besteht darin, daß sie einen entsprechend geringeren Objektabstand besitzen. Diesem Nachteil kann man aber, besonders bei Beobachtungen in parallelem, polarisiertem Lichte unter Verwendung schwächerer und mittlerer Objektive, bis zu einem gewissen Grade durch eine zweckdienliche Einrichtung oder Umgestaltung des Kondensorsystems begegnen. Man benutzt in solchen Fällen am einfachsten nur die unterste größte Linse des Kondensors zur Beleuchtung des Präparats, wie es in Abb. 4 schematisch dargestellt ist. Der Kondensor setzt sich bei kleineren Instrumenten häufig aus nur zwei Linsen zusammen, so daß es genügt, die obere abzuschrauben. Besteht das Kondensorsystem jedoch aus drei Linsen, so entfernt man die beiden oberen. Dieser Methode gebührt bei kleinen Kondensoren zweifellos der Vorzug, weil sie die stärkste und auch gleichmäßigste Beleuchtung des Präparats, besonders bei den gebräuchlichsten schwachen und mittleren Objektiven, gestattet. Man hat deshalb auch, wie später bei der Beschreibung moderner mineralogischer Mikroskope noch näher zu besprechen sein wird, die obere Linse oder beide obern Linsen des Kondensors mit einer besonderen Einrichtung zum raschen Ein- und Ausschalten versehen, so daß man das Präparat im Augenblick und je nach Bedarf mit einem schwach- oder einem starkkonvergenten Lichtbündel beleuchten kann.

Zwei andere, ebenfalls gebräuchliche Methoden der Präparatbeleuchtung bei Beobach-

[4]) Vgl. auch den Abschnitt über „Konoskopische Beobachtungsmethoden" im IV. Teil, S. 61 und 74.

tungen in parallelem polarisiertem Lichte werden durch die Abb. 5 und 6 veranschaulicht. Bei der in Abb. 5 dargestellten Methode wird der Polarisator-Nicol mit dem vollständigen Kondensor-System so tief gesenkt, daß die Vereinigung der aus dem Kondensor austretenden Lichtstrahlen nicht in, sondern **unter** dem Präparat erfolgt und die Beleuchtung daher mit einem divergenten Strahlenbündel geschieht. Wie aus den in Abb. 5 eingezeichneten Strahlen zu ersehen ist, kann bei dieser Methode ein großer Teil der aus dem Kondensor-System austretenden Lichtstrahlen nicht mehr in das Objektiv gelangen; es wird vielmehr immer nur ein Teil der zentralen Strahlen vom Objektiv aufgenommen. In sehr

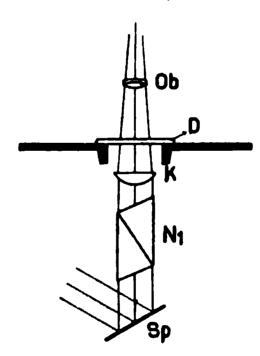


Abb. 4. Beleuchtung des Präparats bei orthoskopischer Beobachtung (sog. paralleles Licht).
Sp = Spiegel, N_1 = Polarisator-Nicol, K = schwache Kondensorlinse, D = Dünnschliff, Ob = Objektiv.

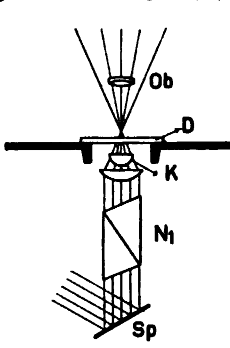


Abb. 5. Beleuchtung des Präparats bei orthoskopischer Beobachtung (sog. paralleles Licht).
Sp = Spiegel, N_1 = Polarisator-Nicol, K = 2gliedriger Kondensor vom Präparat entfernt, D = Dünnschliff, Ob = Objektiv.

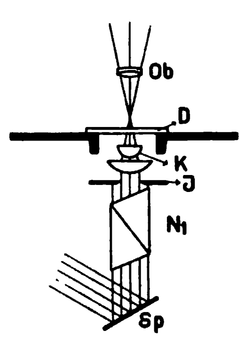


Abb. 6. Beleuchtung des Präparats bei orthoskopischer Beobachtung (sog. paralleles Licht).
Sp = Spiegel, N_1 = Polarisator-Nicol, I = eingeschnürte Irisblende, K = 2gliedriger Kondensor, D = Dünnschliff, Ob = Objektiv.

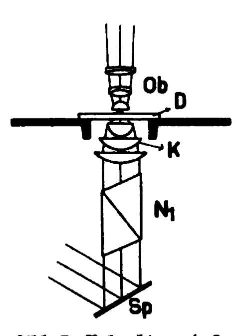


Abb. 7. Beleuchtung des Präparats bei konoskopischer Beobachtung (sog. konvergentes Licht.)
Sp = Spiegel, N_1 = Polarisator-Nicol, K = 2- oder 3gliedriger Kondensor dicht unter dem Präparat, D = Dünnschliff, Ob = kurzbrennweitiges Objektiv, num. Apertur mindestens 0,7.

tiefer Stellung wirkt der Kondensor so, als sei er überhaupt nicht vorhanden; man kann deshalb bei tiefgestelltem Kondensor sogar unter Benützung der allerschwächsten Objekte arbeiten. Ähnlich verhält es sich bei der in Abb. 6 veranschaulichten Anordnung, bei der unter dem Kondensor-System eine **Irisblende** angebracht ist. Bei voll geöffneter Irisblende und bei der in Abb. 6 angenommenen Kondensorlage unmittelbar unter dem Präparat, würde die Beleuchtung des Präparats mit einem stark konvergenten Strahlenbündel, so wie es Abb. 7 andeutet, erfolgen, also auch bei der Benützung von schwachen und mittelstarken Objektiven eine weniger günstige Beleuchtung ergeben, weil das von solchen Objektiven überblickte Sehfeld bei dieser Anordnung nicht voll beleuchtet werden kann. Beim Gebrauch schwacher und mittelstarker Objektive ist es deshalb zur Erzielung günstiger Beleuchtung nötig, die Irisblende soweit einzuschnüren, daß man von einem einigermaßen parallelen Strahlenbündel sprechen kann. Den gleichen Vorteil wie bei den großen **Abbe**schen Beleuchtungsapparaten bietet also die Irisblende bei den kleinen Kondensoren nicht. Deshalb wird auch bei mineralogischen Mikroskopen fast allgemein **den** Kondensor-Vorrichtungen der Vorzug gegeben, die gestatten, die oberen Linsen auf irgend eine Weise rasch und bequem zu entfernen und ebenso rasch wieder in ihre ursprüngliche Stelle, also in den Gang der Lichtstrahlen, zu bringen.

Am günstigsten ist stets die Beleuchtung des Präparats, bei der die Apertur Öffnungswinkel des Kondensors mit der des benützten Objektivs übereinstimmt. In gleich bequemer und exakter Weise wie bei einem gewöhnlichen Mikroskop läßt sich das allerdings bei den gebräuchlichen mineralogischen Mikroskopen nicht durchführen; dennoch besitzen alle vollkommenen und größeren mineralogischen Mikroskope ebenfalls die in der Abb. 6 angedeutete Irisblende.

Bei der **konoskopischen Beobachtung**, also bei der Beobachtung von Interferenzfiguren in konvergentem polarisiertem Lichte (Abb. 7), kommt das Kondensor-System mit voller Öffnung in Verbindung mit einem stärker vergrößernden Objektiv, dessen num. Apertur wenigstens 0,75—0,8 betragen muß, zur Verwendung. Die Apertur des Kondensors muß jedenfalls, soll die des jeweilig benützten Objektivs voll ausgenützt

Inhalt.

Objektivzentrierung (s. S. 17), am oberen Tubus-Ende und den tellerartigen Ansatz für einen zweiten drehbaren Analysator (N_3 in Abb. 2), auf Wunsch wird es auch umlegbar eingerichtet.

Für die *orientierte Verschiebung der Präparate* kann das Mikroskop mit einem *Kreuztisch* ausgerüstet werden, wie ihn Abb. 11 zeigt. Der Kreuztisch wird mit Hilfe zweier Stifte auf den vorhandenen Objekttisch aufgesteckt und durch eine Klemmschraube mit dessen Platte fest verbunden. Das Präparat, bzw. die untere Fläche des Objektträgers bleibt während der Verschiebung durch die beiden Triebknöpfe stets in Berührung mit der Oberfläche des Tisches. Jede der beiden senkrecht zueinander stehenden Bewegungen gestattet eine Verschiebung des Präparats um 30 mm. Die beiden Nonien, die die beiden in Millimeter geteilten Skalen bestreichen, geben 0,1 mm an. Eingerichtet ist dieser Kreuztisch für das Gießener Objektträger-Format; er kann auch für das Heidelberger Format (30:30 mm), aber

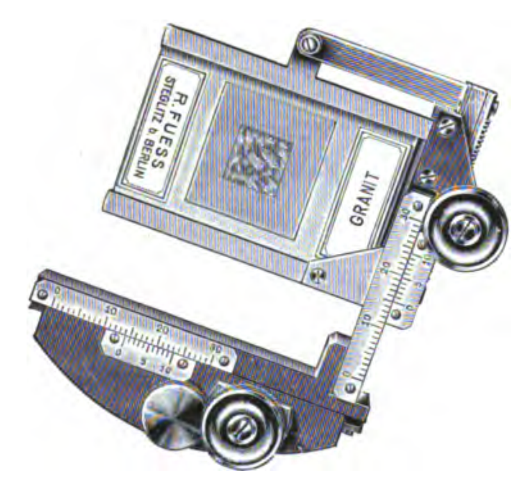


Abb. 11. Kreuztisch zum Aufsetzen auf den gewöhnlichen Tisch des Mikroskops.

nicht für das englische (70:26) eingerichtet werden. (Über einen größeren Kreuztisch s. S. 18, Abb. 15).

3. **Mikroskop mittlerer Größe.** Ein den weitaus meisten Anforderungen entsprechendes mineralogisches Mikroskop mittlerer Größe zeigt Abbildung 12. Um auch bei der Untersuchung mit einfarbigem Lichte unter Verwendung homogener Leuchtflammen (S. 27) oder des Monochromators (S. 28) arbeiten zu können, kann dieses Mikroskop bis zur Horizontalen umgelegt werden. Das Scharniergelenk ist mit Arretier-Hebel versehen. Der drehbare *Objekttisch* ist in $^1/_1{}^0$ geteilt und bestreicht 2 Nonien, die 5′ angeben. Die Oberfläche des eigentlichen Drehtisches T (Abb. 13) ist durch eine aufgesetzte Kappe etwas erhöht, die mit der Oberfläche einen hohlen Raum bildet. In diesen Raum treten bei der Aus- und Einschaltung des sog. konvergenten Lichtes die Kondensorlinsen (Abb. 13, S. 17) ein. Auf der Ebene der Kappe befinden sich zwei kreuzweise liegende Strichteilungen zur Markierung der Lage des Objektträgers. Ein in Abb. 13 angedeuteter, aus dem Zylindermantel der Tischkappe herausragender kleiner Hebel h dient zur Ein- und Ausschaltung der Kondensorlinsen. Die Tischkappe ist vom Drehtisch abnehmbar eingerichtet, falls das Instrument durch einen Kreuztisch nach Art des in Abb. 15 abgebildeten vervollständigt werden soll. Dieser Tisch tritt dann an Stelle der Tischkappe.

Unter dem drehbaren Objekttisch befindet sich an dessen fester Platte die durch Zahn und Trieb

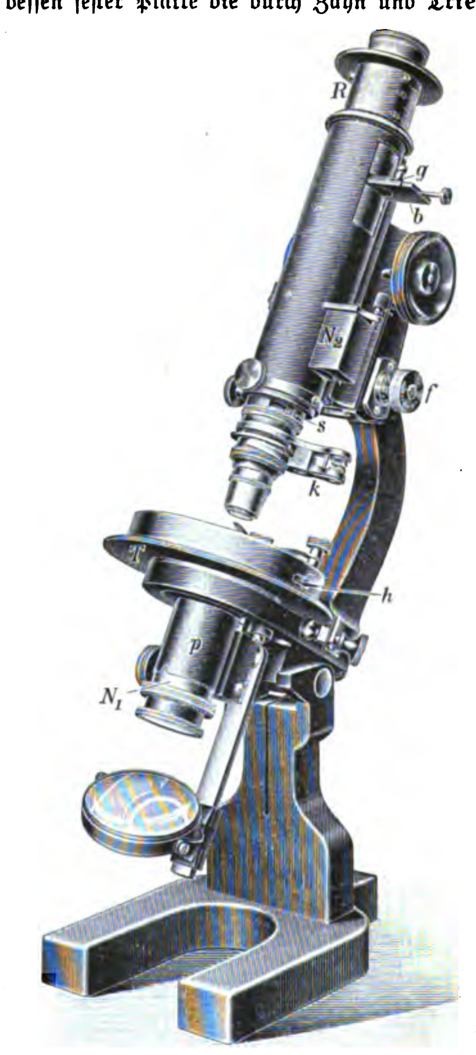


Abb. 12. Mineralogisches Mikroskop mittlerer Größe.

t auf- und niederstellbare Hülse p, die zur Aufnahme des in eine zweite Röhre gefaßten Polarisators N_1, eines Nicolschen Prismas, dient. Ein unter dem Rande der Polarisator-Fassung vorstehender konischer Zahn greift in drei je 45° voneinander entfernte, dem Zahn entsprechende Kerben der Einschiebe-Hülse für die Polarisator-Röhre ein und sichert damit dem Polarisator-Nicol bestimmt orientierte Lagen.

Über dem Polarisator ist eine Kondensor-Linse K_1 eingeschraubt, in deren Fassung sich von oben her vier auf Wunsch beigegebene *Zylinder-*

Blenden verschiedener Größe einstecken lassen; außerdem kann das zum Schutz gegen Staub von unten in das Polarisator-Rohr eingeschraubte Glas gegen eine Irisblende umgetauscht werden.

Die mit dem Polarisator verbundene Kondensor-Linse bildet das untere Glied des mehrgliedrigen Kondensorsystems.

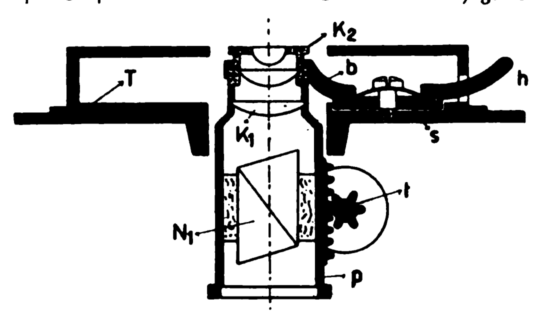


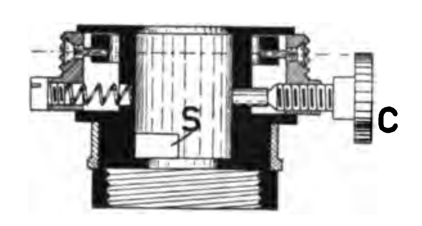
Abb. 13. Ausschaltbarer Kondensor:
p = Polarisator-Rohr mit Nicol N_1, t = Triebbewegung für p, K_1 = schwache, mit p verbundene Kondensorlinse, K_2 = 2gliedriger Kondensor in wegklappbarem Halter, T = Tisch.

Dieses besteht aus drei Linsen, von denen die untere (K_1) stets mit dem Polarisator verbunden bleibt, während die beiden oberen (K_2) in einer besondern Fassung sitzen, die von dem Polarisator-Tubus getrennt ist. In die Platte des drehbaren Objekttisches T (Abb. 13) ist eine drehbare Scheibe s eingelagert, von der ein Arm b ausgeht, dessen Ende ringförmig gestaltet ist. Dieser Ring trägt die gemeinschaftliche Fassung der beiden oberen Linsen des Kondensor-Systems K_2 und ist in Abb. 13 in zentraler Lage zum drehbaren Objekttisch dargestellt. Das Linsenpaar K_2 ist jedoch mit dem Ringhalter nicht fest verbunden, sondern in der Richtung der optischen Achse des Mikroskops etwas beweglich. Bewegt man den Polarisator N_1 mit seinem Triebknopf t in die Höhe, so tritt der Fassungsrand der unteren mit dem Polarisator fest verbundenen Linse K_1 unter die Fassung der oberen Linsen und hebt diese bis zur Ebene des Objekttischs. Beim Senken des Kondensor-Systems folgt die Fassung des Linsenpaares durch den Druck einer in den Ringhalter eingelegten schwachen Spiralfeder der Bewegung des Polarisator-Tubus p. Man kann demnach sowohl in senkrechter, als auch in geneigter und in wagrechter Lage des Mikroskops den Lichtkegel des Kondensor-Systems mit dem Polarisator-Trieb genau so einstellen, wie dies bei einem fest verbundenen Kondensor der Fall ist. Die vom Polarisator getrennte Fassung des oberen Linsenpaars, das den stark konvergenten Lichtkegel erzeugt, ermöglicht aber auch eine Ausschaltung dieser Linsen, ohne den Polarisator in seiner Null-Lage verändern zu müssen. Von der drehbaren Scheibe des Linsen-Halters geht nämlich noch ein zweiter Arm h aus, der als Handhabe dient. In ausgeschaltetem Zustand tritt also das Linsenpaar für konvergentes Licht in den seitlichen Hohlraum der Tischkappe. Der Beobachter kann die Aus- und Einschaltung des Kondensor-Systems, also den Übergang vom konvergenten zum parallelen Licht und umgekehrt, gewissermaßen augenblicklich vollziehen, ohne sich in der Betrachtung eines Präparats stören zu lassen.

Die grobe Einstellung des Tubus geschieht in der üblichen Weise durch Zahn und Trieb. Die Bewegung ist sehr ausgiebig, so daß die Anwendung sehr schwacher Orientierungs-Objektive von etwa 50 mm Äquivalent-Brennweite noch möglich ist. Zur Fein-Einstellung des Tubus dient die von Berger vorgeschlagene Mikrometer-Einrichtung. Der Drehknopf f der Feinbewegung ist mit einer Teilung versehen, deren einzelne Teilstriche direkt 0,005 mm angeben. — Wenn bei dieser Fein-Einstell-Vorrichtung auch ein sog. „toter Gang" ausgeschlossen ist, so empfiehlt es sich doch, Dickenmessungen (S. 46) stets nur in einem Drehungssinne vorzunehmen.

Mit Hilfe der beiden am unteren Tubusende angebrachten, um 90° voneinander abstehenden feingängigen Schrauben c und c_1 wird die Zentrierung der Objektive vorgenommen. Den Zentrier-Mechanismus (nach R. Fueß) erläutert Abb. 14, die einen Blick von oben in die geöffnete Vorrichtung und einen Hauptschnitt durch dieselbe zeigt. Die Objektive werden auch bei diesem Mikroskop nicht angeschraubt, sondern durch die auf S. 15 bereits beschriebene Objektivklammer (Abb. 9) festgehalten.

Unmittelbar über der Objektivklammer k befindet sich unter einem Winkel von 45° zum Hauptschnitt der bereits erwähnte, durch einen drehbaren Ring lichtdicht abzuschließende Schlitz s zur Einführung verzögernder Platten und Keile zur Erkennung schwacher Doppelbrechung und zur Bestimmung des Charakters der Doppelbrechung (S. 72).



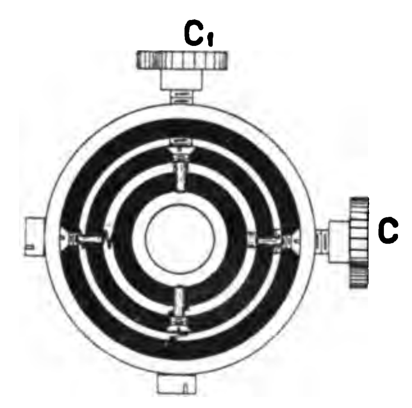


Abb. 14. Zentrier-Mechanismus für Objektive (nach R. Fueß). Oberansicht unten und Schnitt oben.
c und c_1 sind die beiden Zentrierschrauben, s ist der unter 45° zum Hauptschnitt des Mikroskops und der Schrauben c und c_1 liegende Schlitz zum Einschieben verzögernder Platten.

Der im Tubus untergebrachte Analysator-Nicol N_2 ist ebenso wie bei den vorbeschriebenen Mikroskopen aus- und einschaltbar und mit der auf S. 15 besprochenen Korrektionslinse kombiniert.

Zwischen dem ausschaltbaren Analysator N_2 und dem Okular befindet sich in der linksseitigen Tubuswand noch ein Durchbruch für die Einführung der Amici-Bertrandschen Hilfslinse (S. 12), die zur Scharf-Einstellung mit Hilfe des Auszugsrohrs R durch Zahn und Trieb verschoben werden kann. Die Hilfslinse ist in den Schieber b gefaßt, dessen Stellung beim Herausziehen, also bei ausgeschalteter Linse, durch den federnden Anschlag g begrenzt wird, während beim Einschieben die richtige Lage in der Achse des Tubus durch den Anschlag des Schiebers b gegen die Wand des Auszugsrohrs kenntlich wird. Ist ein gänzliches Herausnehmen (z. B. zur Reinigung oder zur Umwechslung gegen eine andere Linse) erforderlich, so wird der federnde Anschlag g mit einem Knöpfchen ein wenig angehoben.



Abb. 15. Großer Kreuztisch.

Das Auszugsrohr R trägt eine Millimeter-Teilung, deren Zahlen den Abstand des Okulars vom Objektiv, also die jeweilige Tubuslänge, angeben. Aus diesen Zahlen kann man auf bekannte Weise die verschiedenen Vergrößerungen für jede Tubus-Länge berechnen; ferner kann man die Einteilung als Markiertafel benutzen, um diejenige Tubus-Stellung wieder aufzufinden, bei der man irgendein Objekt am vorteilhaftesten gesehen hat. Beide Anwendungen sind indes nur nebensächlicher Art. Vor allem kommt es darauf an, diejenige Stellung des Auszugsrohrs ein für allemal zu kennen, bei der man bei den verschiedenen Objekten die Achsenbilder ohne Parallaxe sieht, denn nur in dieser Stellung kann das lineare Maß der scheinbaren Entfernung der Achsen zur Berechnung des scheinbaren Winkels der optischen Achsen benützt werden (S. 83).

Dem Mikroskop wird eine gebrauchsfertige Tabelle beigelegt, die darüber Aufschluß gibt, welche Stellung der Tubus haben muß, wenn das Interferenzbild für ein normales Auge deutlich sichtbar sein soll.

Um die Berechnung des scheinbaren Winkels der optischen Achsen, die aus den mikrometrischen Messungen erfolgt, zu ersparen, kann jedem Mikroskop eine von M. Schwarzmann angegebene, nach dem Prinzip des logarithmischen Rechenschiebers hergestellte Skala beigegeben werden, deren Einrichtung und Handhabung im vierten Teil (S. 84) erläutert ist.

Auf das Ende des Okular-Rohrs R kann ein Analysator aufgesteckt werden, dessen Teilkreis in $1/1^0$ geteilt ist. Dieser Analysator dient vorwiegend zur Bestimmung von Auslöschungslagen (S. 63) und zur Messung des optischen Drehungsvermögens (S. 58). Die Fassung ist geschlitzt, damit verzögernde Platten und Keile (S. 70) eingeführt werden können. Ein scheibenförmiger Ansatz des Auszugsrohrs dient dem Teilkreis als Stützpunkt und trägt die Index-Marke.

Die mit dem drehbaren Objekttisch verbundene hohle Tischkappe des Mikroskops (Abb. 12) kann auch durch den in Abb. 15 dargestellten Kreuztisch ersetzt werden. Die eine mit der Schraube s zu bewirkende Bewegungsrichtung ist mikrometischer Art und meßbar, während die zweite durch die Schraube s' mit stark steigendem Gewinde auszuführende Bewegung zur schnellen Absuchung des Präparats bestimmt ist. Die Schraube s hat eine Ganghöhe von 0,5 mm, der Kopf eine Einteilung von 50 Strichen, so daß sich für die Messung eine Ablesung von 0,1 mm ergibt. An zwei zueinander senkrecht stehenden Längsskalen kann die Größe der Schlitten-Verschiebungen gemessen werden; außerdem dienen diese beiden Skalen als sog. Finderteilung. In diesem Fall bedient man sich zum Anlegen des Präparats der mittels zweier Stifte einsteckbaren Winkelleiste w. Den gebräuchlichen Objektträger-Größen Rechnung tragend, sind zwei Anschlagleisten, passend für das englische und das Gießener Vereins-Format, beigegeben. Wie bei den gewöhnlichen Tischen wird das Objekt durch die bekannten einsteckbaren zwei Federklemmen festgehalten. b' ist der Hebel für die Aus- und Einschaltevorrichtung des Kondensors (S. 17, Abb. 13), der in eingeschaltetem Zustand unter die Tischplatte des Kreuzschlittens tritt und die freie Bewegung der Schlitten in keiner der beiden Stellungen behindert.



Abb. 16. Tubus mit drehbarem Innen-Nicol und einer Irisblende unter der Amici-Bertrandschen Hilfslinse.

Statt dieses sehr vollkommenen Kreuztisches kann auch der auf S. 16 besprochene einfachere Kreuztisch (Abb. 11) verwendet werden, der direkt auf die runde Tischkappe aufgesteckt wird. Dieser Kreuztisch eignet sich jedoch nur zur Verschiebung von Gesteinsdünnschliffen und sonstigen auf Objektträgern Gießener Formats befestigten Präparaten. Die Verwendung größerer Hilfsapparate (beispielsweise von Drehapparaten, Erhitzungsvorrichtungen usw.), wie sie häufig in Verbindung mit mineralogischen Mikroskopen gebraucht werden, ist auf einem derartigen einfachen Kreuztisch nicht möglich.

Der mit dem vorbeschriebenen Mikroskop (Abb. 12) verbundene Tubus kann auch durch einen **Tubus mit drehbarem Innen-Nicol und einer Irisblende** unter der Amici-Bertrandschen Hilfslinse (Abb. 16) ersetzt werden, bei dem das analysierende Prisma nicht bloß aus- und einschaltbar, sondern auch noch drehbar eingerichtet ist. Die Drehung dieses Innen-Nicols, das in jeder Drehungslage aus- und einschaltbar ist, wird mit dem Knopf d ausgeführt; an dem am Mantel des Tubus angeschraubten, in $^1/_1$ Grade geteilten Quadranten T kann man den Winkel, um den der Analysator gedreht wurde, ablesen. Die beiden Hauptlagen des Nicols 0° und 90° werden durch besondere Anschläge markiert.

Die Möglichkeit der Drehung des Innen-Analysators erweist sich besonders bei der Messung der optischen Achsen, für die man den Nicol bequem, ohne das Okular zu versetzen, in die 45-Grad-Stellung drehen kann, als Annehmlichkeit; ebenso bei Beobachtungen zwischen parallel gestellten Nicols.

Die unter dem Amici-Bertrandschen Hilfsobjektiv eingesetzte Irisblende zeigt sowohl bei der Beobachtung des Achsen-Austritts von sehr kleinen, als auch bei größeren Mineral-Schnitten gute Dienste, da sie den Beobachter besonders bei kleineren Mineral-Durchschnitten bis zu einem gewissen Grade in die Lage setzt, die Umgebung des zu untersuchenden Präparats durch Einschnürung des Gesichtsfeldes von der Beobachtung auszuschließen und so ein möglichst klares Achsenbild, das frei von den störenden Einflüssen der danebenliegenden Teile ist, zu erhalten. Bei größern Mineral-Durchschnitten erhält man in vielen Fällen durch entsprechende Einschnürung der Irisblende ein schärferes und klareres Interferenzbild.

4. Größere Mikroskope. Außer den vorbeschriebenen Mikroskopen werden von den verschiedenen Firmen, die sich mit der Herstellung mineralogischer Mikroskope befassen, auch noch größere Modelle angefertigt, die hier jedoch aus Raumgründen nicht ausführlich beschrieben werden können. Wir beschränken uns deshalb darauf, die wichtigsten Unterschiede einiger größern Instrumente, die übrigens fast alle speziellen Zwecken dienen, gegenüber dem vorbeschriebenen meist benutzten mittleren Stativ, hervorzuheben.

Ein neueres, von der Firma R. Fueß verfertigtes, großes mineralogisches Mikroskop (Abb. 17) besitzt als Polarisator-Nicol ein großes Ahrenssches Prisma (S. 10), das wirklich eine vollwertige Ausnützung des bei histologischen Mikroskopen gebräuchlichen Abbeschen Beleuchtungsapparats gestattet. Ein voll ausnutzbarer Abbescher Beleuchtungsapparat ist auch bei einem mineralogischen Mikroskop von Wert, besonders dann, wenn das Instrument gleichzeitig zu andern als mineralogischen Untersuchungen dienen soll. Die besonderen Vorteile des großen Abbeschen Beleuchtungsapparates in Verbindung mit einem entsprechend großen Polarisator sind bei mineralogischen Studien:

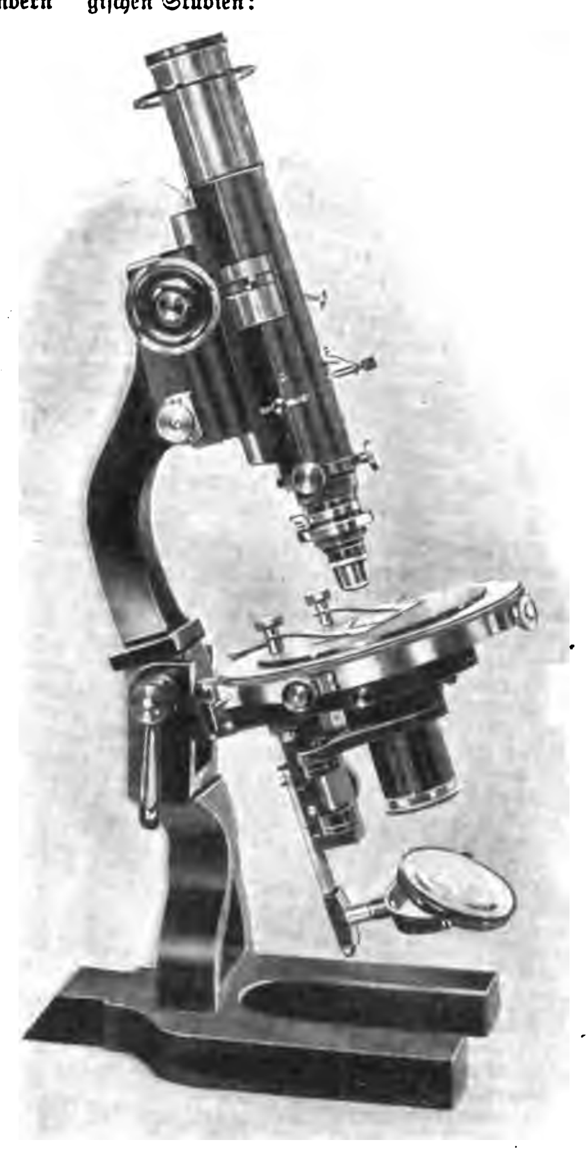


Abb. 17. Großes mineralogisches Mikroskop.

a) Fortfall der Kondensor-Ausschaltung (s. S. 17) für konvergentes Licht.
b) Günstigere Abstands-Verhältnisse zwischen Objekt und Kondensor.

Die übliche Aus- und Einschaltung des Linsensatzes für konvergentes Licht ist bei einer derartigen Anordnung also völlig entbehrlich, denn man kann vom schwächsten zum

Der im Tubus untergebrachte Analysator-Nicol N_2 ist ebenso wie bei den vorbeschriebenen Mikroskopen aus- und einschaltbar und mit der auf S. 15 besprochenen Korrektionslinse kombiniert.

Zwischen dem ausschaltbaren Analysator N_2 und dem Okular befindet sich in der linksseitigen Tubuswand noch ein Durchbruch für die Einführung der Amici-Bertrandschen Hilfslinse (S. 12), die zur Scharf-Einstellung mit Hilfe des Auszugsrohrs R durch Zahn und Trieb verschoben werden kann. Die Hilfslinse ist in den Schieber b gefaßt, dessen Stellung beim Herausziehen, also bei ausgeschalteter Linse, durch den federnden Anschlag g begrenzt wird, während beim Einschieben die richtige Lage in der Achse des Tubus durch den Anschlag des Schiebers b gegen die Wand des Auszugsrohrs kenntlich wird. Ist ein gänzliches Herausnehmen (z. B. zur Reinigung oder zur Umwechslung gegen eine andere Linse) erforderlich, so wird der federnde Anschlag g mit einem Knöpfchen ein wenig angehoben.



Abb. 15. Großer Kreuztisch.

Das Auszugsrohr R trägt eine Millimeter-Teilung, deren Zahlen den Abstand des Okulars vom Objektiv, also die jeweilige Tubuslänge, angeben. Aus diesen Zahlen kann man auf bekannte Weise die verschiedenen Vergrößerungen für jede Tubus-Länge berechnen; ferner kann man die Einteilung als Markiertafel benutzen, um diejenige Tubus-Stellung wieder aufzufinden, bei der man irgendein Objekt am vorteilhaftesten gesehen hat. Beide Anwendungen sind indes nur nebensächlicher Art. Vor allem kommt es darauf an, diejenige Stellung des Auszugsrohrs ein für allemal zu kennen, bei der man bei den verschiedenen Objekten die Achsenbilder ohne Parallaxe sieht, denn nur in dieser Stellung kann das lineare Maß der scheinbaren Entfernung der Achsen zur Berechnung des scheinbaren Winkels der optischen Achsen benützt werden (S. 83).

Dem Mikroskop wird eine gebrauchsfertige Tabelle beigelegt, die darüber Aufschluß gibt, welche Stellung der Tubus haben muß, wenn das Interferenzbild für ein normales Auge deutlich sichtbar sein soll.

Um die Berechnung des scheinbaren Winkels der optischen Achsen, die aus den mikrometrischen Messungen erfolgt, zu ersparen, kann jedem Mikroskop eine von M. Schwarzmann angegebene, nach dem Prinzip des logarithmischen Rechenschiebers hergestellte Skala beigegeben werden, deren Einrichtung und Handhabung im vierten Teil (S. 84) erläutert ist.

Auf das Ende des Okular-Rohrs R kann ein Analysator aufgesteckt werden, dessen Teilkreis in $1/1^{0}$ geteilt ist. Dieser Analysator dient vorwiegend zur Bestimmung von Auslöschungslagen (S. 63) und zur Messung des optischen Drehungsvermögens (S. 58). Die Fassung ist geschlitzt, damit verzögernde Platten und Keile (S. 70) eingeführt werden können. Ein scheibenförmiger Ansatz des Auszugsrohrs dient dem Teilkreis als Stützpunkt und trägt die Index-Marke.

Die mit dem drehbaren Objekttisch verbundene hohle Tischkappe des Mikroskops (Abb. 12) kann auch durch den in Abb. 15 dargestellten Kreuztisch ersetzt werden. Die eine mit der Schraube s zu bewirkende Bewegungsrichtung ist mikrometischer Art und meßbar, während die zweite durch die Schraube s' mit stark steigendem Gewinde auszuführende Bewegung zur schnellen Absuchung des Präparats bestimmt ist. Die Schraube s hat eine Ganghöhe von 0,5 mm, der Kopf eine Einteilung von 50 Strichen, so daß sich für die Messung eine Ablesung von 0,1 mm ergibt. An zwei zueinander senkrecht stehenden Längsskalen kann die Größe der Schlitten-Verschiebungen gemessen werden; außerdem dienen diese beiden Skalen als sog. Finderteilung. In diesem Fall bedient man sich zum Anlegen des Präparats der mittels zweier Stifte einsteckbaren Winkelleiste w. Den gebräuchlichen Objektträger-Größen Rechnung tragend, sind zwei Anschlagleisten, passend für das englische und das Gießener Vereins-Format, beigegeben. Wie bei den gewöhnlichen Tischen wird das Objekt durch die bekannten einsteckbaren zwei Federklemmen festgehalten. b' ist der Hebel für die Aus- und Einschaltevorrichtung des Kondensors (S. 17, Abb. 13), der in eingeschaltetem Zustand unter die Tischplatte des Kreuzschlittens tritt und die freie Bewegung der Schlitten in keiner der beiden Stellungen behindert.



Abb. 16. Tubus mit drehbarem Innen-Nicol und einer Irisblende unter der Amici-Bertrandschen Hilfslinse.

Statt dieses sehr vollkommenen Kreuztisches kann auch der auf S. 16 besprochene einfachere Kreuztisch (Abb. 11) verwendet werden, der direkt auf die runde Tischkappe aufgesteckt wird. Dieser Kreuztisch eignet sich jedoch nur zur Verschiebung von Gesteinsdünnschliffen und sonstigen auf Objektträgern Gießener Formats befestigten Präparaten. Die Verwendung größerer Hilfsapparate (beispielsweise von Drehapparaten, Erhitzungsvorrichtungen usw.), wie sie häufig in Verbindung mit mineralogischen Mikroskopen gebraucht werden, ist auf einem derartigen einfachen Kreuztisch nicht möglich.

Der mit dem vorbeschriebenen Mikroskop (Abb. 12) verbundene Tubus kann auch durch einen **Tubus mit drehbarem Innen-Nicol und einer Irisblende** unter der Amici-Bertrandschen Hilfslinse (Abb. 16) ersetzt werden, bei dem das analysierende Prisma nicht bloß aus- und einschaltbar, sondern auch noch drehbar eingerichtet ist. Die Drehung dieses Innen-Nicols, das in jeder Drehungslage aus- und einschaltbar ist, wird mit dem Knopf d ausgeführt; an dem am Mantel des Tubus angeschraubten, in $1/_1$ Grade geteilten Quadranten T kann man den Winkel, um den der Analysator gedreht wurde, ablesen. Die beiden Hauptlagen des Nicols 0° und 90° werden durch besondere Anschläge markiert.

Die Möglichkeit der Drehung des Innen-Analysators erweist sich besonders bei der Messung der optischen Achsen, für die man den Nicol bequem, ohne das Okular zu versetzen, in die 45-Grad-Stellung drehen kann, als Annehmlichkeit; ebenso bei Beobachtungen zwischen parallel gestellten Nicols.

Die unter dem Amici-Bertrandschen Hilfsobjektiv eingesetzte Irisblende zeigt sowohl bei der Beobachtung des Achsen-Austritts von sehr kleinen, als auch bei größeren Mineral-Schnitten gute Dienste, da sie den Beobachter besonders bei kleineren Mineral-Durchschnitten bis zu einem gewissen Grade in die Lage setzt, die Umgebung des zu untersuchenden Präparats durch Einschnürung des Gesichtsfeldes von der Beobachtung auszuschließen und so ein möglichst klares Achsenbild, das frei von den störenden Einflüssen der danebenliegenden Teile ist, zu erhalten. Bei größern Mineral-Durchschnitten erhält man in vielen Fällen durch entsprechende Einschnürung der Irisblende ein schärferes und klareres Interferenzbild.

4. Größere Mikroskope. Außer den vorbeschriebenen Mikroskopen werden von den verschiedenen Firmen, die sich mit der Herstellung mineralogischer Mikroskope befassen, auch noch größere Modelle angefertigt, die hier jedoch aus Raumgründen nicht ausführlich beschrieben werden können. Wir beschränken uns deshalb darauf, die wichtigsten Unterschiede einiger größern Instrumente, die übrigens fast alle speziellen Zwecken dienen, gegenüber dem vorbeschriebenen meist benutzten mittleren Stativ, hervorzuheben.

Ein neueres, von der Firma R. Fueß verfertigtes, großes mineralogisches Mikroskop (Abb. 17) besitzt als Polarisator-Nicol ein großes Ahrens sches Prisma (S. 10), das wirklich eine vollwertige Ausnützung des bei histologischen Mikroskopen gebräuchlichen Abbeschen Beleuchtungsapparats gestattet. Ein voll ausnutzbarer Abbescher Beleuchtungsapparat ist auch bei einem mineralogischen Mikroskop von Wert, besonders dann, wenn das Instrument gleichzeitig zu andern als mineralogischen Untersuchungen dienen soll. Die besonderen Vorteile des großen Abbeschen Beleuchtungsapparates in Verbindung mit einem entsprechend großen Polarisator sind bei mineralogischen Studien:

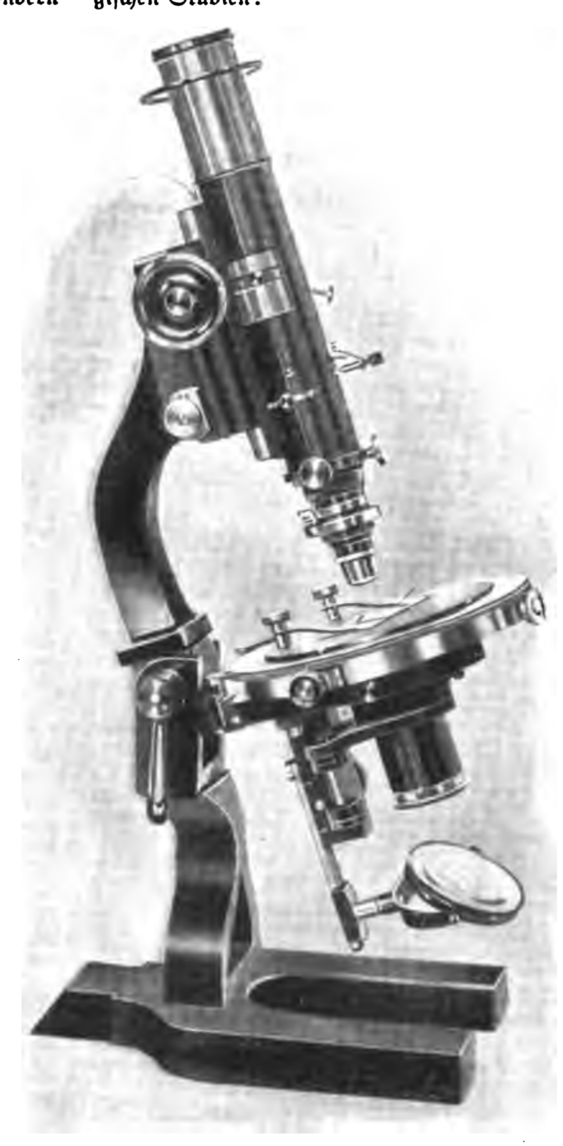


Abb. 17. Großes mineralogisches Mikroskop.

a) Fortfall der Kondensor-Ausschaltung (s. S. 17) für konvergentes Licht.
b) Günstigere Abstands-Verhältnisse zwischen Objekt und Kondensor.

Die übliche Aus- und Einschaltung des Linsensatzes für konvergentes Licht ist bei einer derartigen Anordnung also völlig entbehrlich, denn man kann vom schwächsten zum

stärksten (z. B. zur Öl-Immersion) Objektiv übergehen, ohne in den meisten Fällen überhaupt an der Kondensor-Stellung etwas ändern zu müssen. Weniger konvergentes, praktisch genommen „paralleles Licht" für die Beobachtung mit schwachen Objektiven erhält man in sehr bequemer Weise, wenn man die mit dem Abbeschen Beleuchtungsapparat verbundene große Irisblende entsprechend einschnürt oder den ganzen Beleuchtungsapparat mit seinem Triebwerk senkt (S. 13). Jedenfalls läßt sich die Beleuchtung des Objekts bei diesem Beleuchtungsapparat in viel vollkommenerem und weitgehenderem Maße bewerkstelligen, als bei den meist gebräuchlichen kleineren Beleuchtungs-Vorrichtungen. — Der drehbare Objekttisch dieses Mikroskops ist besonders groß; sein Durchmesser beträgt 13 cm. Mit dem Objekttisch ist ein Kreuztisch verbunden, dessen Bewegungs-Mechanismus verdeckt in der drehbaren Tischscheibe gelagert ist, so daß eine große ebene Fläche zum Auflegen der Präparate und kleinerer Hilfsapparate entsteht. Beide Bewegungen des Kreuztisches können an Millimeter-Skalen abgelesen werden; die Trommeln der beiden Mikrometerschrauben geben direkt 0.01 Millimeter an. — Entfernt man das große Polarisator-Prisma und schaltet man den Innen-Nicol aus, so kann das Mikroskop wie jedes andere zu histologischen Untersuchungen benutzt werden.

Besonderer Erwähnung bedarf sodann noch eine Gruppe mineralogischer Mikroskope, bei denen das Präparat unbeweglich bleibt, während die Nicolschen Prismen um das festliegende Präparat gedreht werden. Die dazu nötige gemeinsame Drehung der Nicolschen Prismen erfordert eine mehr oder minder komplizierte Einrichtung. Ein Vorteil der gemeinsamen Nicol-Drehung um das festliegende Präparat besteht darin, daß man bei dieser Anordnung keiner Zentrierung der Objektive bedarf. Praktisch ist die gemeinsame Nicoldrehung auch bei der Untersuchung von Kristallen, die unter möglichst allseitiger Bewegung in stark brechenden Flüssigkeiten untersucht werden sollen; diese Bedingung kann man in ausgiebiger Weise nur durch Drehen der Nicols an Stelle des Tisches erfüllen. Weiter kann bei Erhitzungsversuchen der Erhitzungsapparat, der gewöhnlich seiner Größe und der Zuleitungen (für Gas oder Elektrizität) wegen mit dem Objekttisch nur in sehr beschränktem Maße und unter erschwerenden Umständen gedreht werden kann, bei drehbaren Nicols an seinem Orte auf dem festen oder festgestellten Tische des Mikroskops verbleiben. Das gleiche gilt für Untersuchungen im Vakuum oder unter Druck.

Für die gemeinsame Nicol-Drehung sind zwei verschiedene Übertragungsmechanismen gebräuchlich. Bei der einen gelangen Zahnräder zur Anwendung; und bei der andern, einfachern, die meines Wissens zuerst von E. Sommerfeld[5] vorgeschlagen worden ist, besitzen die beiden Nicolschen Prismen Drehhebel, die durch eine Stange miteinander verbunden sind. Während die mit Zahnradübertragung arbeitende Einrichtung eine volle Umdrehung (360°) der Nicolschen Prismen gestatten, ist es bei der einfachen Übertragungs-Einrichtung nicht gut möglich, eine über 180° wesentlich hinausgehende Drehung zu erzielen; damit reicht man aber im allgemeinen vollkommen aus.

Eine der vereinfachten Vorrichtungen zur gemeinsamen Nicoldrehung ist z. B. angewendet bei dem auf S. 21 beschriebenen neuen petrographischen Mikroskop für das Arbeiten nach der Theodolit-Methode, ferner bei einem gleichfalls neuen Mikroskop nach F. E. Wright, bei dem auch ein großes Ahrenssches Prisma als Polarisator und ein großer Abbescher Beleuchtungsapparat zur Anwendung gelangen. Das Wrightsche Mikroskop unterscheidet sich von den übrigen Mikroskopen außerdem noch dadurch, daß das obere Ende des Tubus mit einer Einrichtung versehen ist, die es gestattet, die verschiedensten, in Metallschlitten einmontierten Hilfsapparate in die Bildebene des Okulars einzuschieben. Hierfür kommen Vorrichtungen in Frage, die zur Messung der Doppelbrechung (S. 70), des optischen Achsenwinkels (S. 83) der Auslöschungslagen (S. 63) von Mineralplatten und der Bestimmung der Mengenverhältnisse (S. 29 u. 48) dienen. Ein besonders wichtiger Hilfsapparat dieses Mikroskops ist der von Wright angegebene Kombinations-Quarzkeil zur Bestimmung der Doppelbrechung, der aus einer etwa 35 mm langen, mit Teilung versehenen Quarzplatte und einem Quarzkeil besteht, die übereinander gelagert sind und deren Hauptachsen rechtwinklig zueinander stehen. Am Nullpunkt haben Platte und Keil gleiche Dicke, woraus sich die genaue Kompensation ergibt. Der Keilwinkel ist so berechnet, daß die einzelnen Teilstriche der Skala direkt einer Verzögerung von 10 $\mu\mu$ entsprechen. Für Natriumlicht würde also die Entfernung zwischen 2 aufeinander folgenden Interferenz-Streifen gleich 58,9 Abteilungen (589 $\mu\mu$) auf der Keil-Skala sein. Bei diesem Keil ist der Wegunterschied von Wellen, die in einer bestimmten Platte entstehen, leicht festzustellen. Wenn die scheinbare Plattendicke nach der Methode von Duc de Chaulnes (S. 46) mittels des Brechungsindex auf ihre wirkliche Dicke reduziert wird oder mit Hilfe eines genauen Dickenmessers (Sphärometer) bestimmt wurde, ist es möglich, die Doppelbrechung der Platte mit einer Genauigkeit von etwa 10 Minuten zu bestimmen.

Ein allgemein bekannt gewordenes Mikroskop, bei dem die gemeinsame Nicoldrehung durch eine Zahnrad-Übertragung unter Vermeidung des „toten" Ganges in den Zahnrädern erfolgt, schlug Verf.[6] im Jahre 1905 vor. Auf Anregung von J. Hirschwald[7]) hat dieses Mikroskop im Jahre 1910 einige Änderungen und Verbesserungen erfahren, wodurch die polarisierenden Vorrichtungen für die verschiedenen Untersuchungszwecke folgende Kombinationen gestatten:

1. Der Polarisator und der im Tubus eingeschlossene und ausschaltbare Innen-Analysator und das Fadenkreuz-Okular drehen sich gleichzeitig.

---

[5]) Zeitschr. f. wissenschaftl. Mikroskopie, Jahrg. 22, 1905, S. 376.

[6]) C. Leiß, Neues Jahrb. f. Mineralogie usw., Beil., Bd. 10, 1895, S. 180.

[7]) s. J. Hirschwald, Handbuch der bautechnischen Gesteinskunde, Berlin.

2. Der Polarisator bleibt stehen. Der Innen-Analysator und das Fadenkreuz-Okular drehen sich gleichzeitig.

3. Polarisator und Analysator drehen sich gleichzeitig, während das Okular stehen bleibt.

4. Der Polarisator und das Okular stehen fest, nur der Analysator ist drehbar.

Endlich gibt es noch ein größeres mineralogisches Stativ-Mikroskop, das gewissermaßen eine Vereinigung des vorerwähnten und des auf S. 19 (Abb. 17) besprochenen großen Mikroskops bildet. In seinem Gesamt-Aussehen schließt sich dieses Instrument vorwiegend an das nach J. Hirschwalds Vorschlägen modifizierte Mikroskop an, nur besitzt das neuere Modell eine vollkommenere Beleuchtungs-Einrichtung durch Anwendung eines großen Abbeschen Kondensors und eines diesem Kondensor entsprechenden großen Ahrensschen Polarisator-Nicols (S. 10), sowie den besonders großen drehbaren Tisch mit verdeckt liegendem Kreuztisch des auf S. 19 erwähnten Mikroskops.

5. Großes petrographisches Mikroskop für das Arbeiten nach der Theodolit-Methode. Bei der früher allgemein gebräuchlichen Untersuchungs-Methode, auf der auch die Konstruktion der beschriebenen Mikroskope basiert, wird das Präparat stets um eine mit der Sehlinie zusammenfallende Achse gedreht, oder das Präparat liegt fest, und man dreht die beiden Nicolschen Prismen um eine ebenfalls mit der Sehlinie zusammenfallende Achse, die gleichzeitig normal auf der Ebene des Präparats steht. E. v. Fedorow hat eine andere Methode, deren er sich zuerst zur Bestimmung der kristallographischen Elemente mit Hilfe eines besonderen Reflexionsgoniometers bediente, auch für die Petrographie nutzbringend ausgebildet. Bei dieser Methode wird der Dünnschliff um verschiedene senkrecht zueinander gelagerte Achsen gedreht. Zur Bestimmung von Gesteins-Dünnschliffen (insbesondere der vielen Feldspat-Varietäten) nach der Theodolit-Methode benützt man den von E. v. Fedorow zuerst vorgeschlagenen, von der Firma R. Fueß konstruierten und eingeführten Universaltisch, der einen auf dem Mikroskoptisch zu befestigenden Hilfsapparat der mineralogischen Mikroskope bildet. Diesem später von W. Nikitin und E. F. Wright verbesserten Universaltisch haften aber noch einige Mängel an, da es z. B. nicht möglich ist, auf einem solchen Tisch Dünnschliffe, die auf normale Objektträger-Formate (z. B. 28 × 48 mm) aufgekittet sind, zu verwenden. Der Universaltisch bedingt vielmehr besondere kleine und runde Objektträger von höchstens 20 mm Durchmesser; obendrein dürfen die Schliffe nicht mit einem Deckglas versehen sein. Schließlich erfordert das Arbeiten mit dem Universaltisch infolge der geringeren Abmessungen des ganzen Apparats ziemlich große Geschicklichkeit und Übung. Aus diesen Gründen erschien es dem Verfasser angezeigt[8]), für das Arbeiten nach der Theodlit-Methode ein eigenes Mikroskop zu bauen, das wir in Abb. 18 sehen. Da das Arbeiten nach der Theodolit-Methode immer mehr an Bedeutung gewinnt, sei hier eine kurze Beschreibung dieses Spezial-Instruments gegeben.[9])

Die dem eigentlichen Universaltisch nachgebildete, aber wesentlich größere Tisch-Einrichtung ist für das Gießener Vereins-Format 28 × 48 mm eingerichtet. Die Verwendung unbedeckter oder

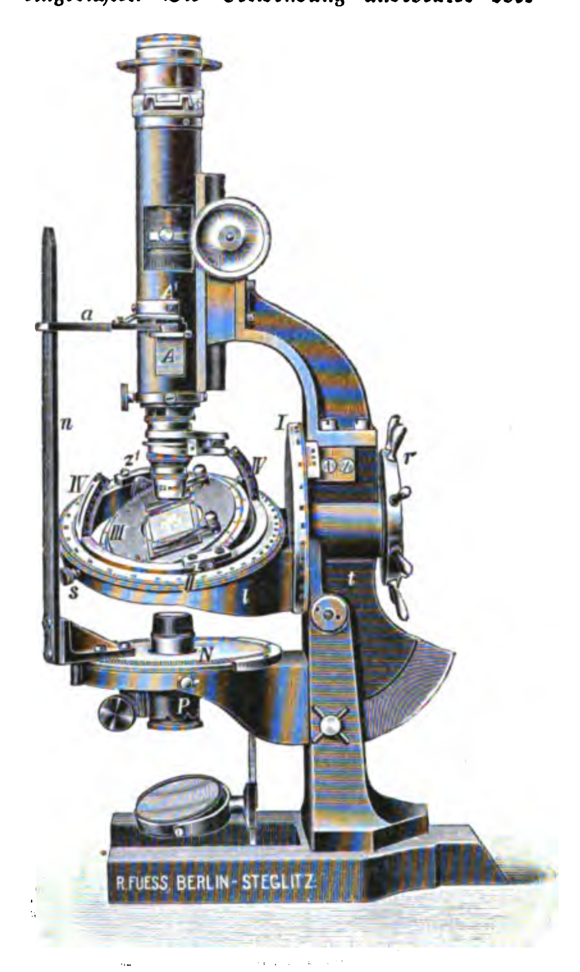


Abb. 18. Großes Mikroskop zum Arbeiten nach der Theodolit-Methode.

mit der Schliffseite nach oben gelegter Dünnschliffe ist bei der neuen Einrichtung nicht nötig, das Präparat wird vielmehr in gewohnter Weise auf den Objekttisch aufgelegt und durch Federklemmen festgehalten. Im obern Kernstück des mit Umlege-Einrichtung versehenen Trägers t

[8]) C. Leiß, Zeitschr. f. Instrumentenkunde, 1. Jahrgang, 1912, S. 377—379, sowie Zentralblatt f. Mineralogie usw., Jahrg. 1912, S. 733—736.

[9]) Sehr ausführlich ist das Arbeiten nach der Theodolit-Methode behandelt in: W. W. Nikitin: La methode univers. de Fedoroff. Descript. system. de la marche des opérations à effectuer pour la déterminat. d. constantes optiques d. minéraux. Traduct. franç. p. L. Duparc et V. de Dervies. Genf 1913.

ist die sogenannte immobile Achse des senkrechten Teilkreises I mit Hilfe des Speichenrades r drehbar gelagert; sie kann durch eine in der Abb. 18 nicht sichtbare Schraube festgeklemmt werden. Fest mit I verbunden, ist das Lagerstück l für das gesamte übrige aus dem Kreis II, dem Hilfskreis III und den beiden wegklappbaren geteilten Bogenstücken IV bestehende Kreissystem. Der Kreis II besitzt eine (sog. mobile) Drehungsachse im Lagerstück l; er kann durch die Schraube s festgeklemmt werden. Die Drehung oder Neigung des das Präparat tragenden Hilfskreises III erfolgt um die beiden Zapfenlager z und z^1, die nicht festklemmbar sind. Damit die Schliffebene des auf dem Hilfskreis III liegenden Präparats genau in die verlängert gedachte Achse der Kreise I und III gebracht werden kann, läßt sich die geränderte Auflageplatte für das Präparat innerhalb der erforderlichen Grenzen hoch und tief schrauben und durch eine unter der Auflageplatte befindliche Klemmschraube fixieren. Dies geschieht derart, daß man mit der einen Hand den Kreis III an seinem geränderten Rand festhält und die Auflageplatte entsprechend dreht. Das Mutter-Gewinde für die Präparat-Auflage befindet sich also im Kreis III.

Eingeteilt sind alle 3 Kreise und die beiden Bogenstücke in $^1/_1$ Grade. Bei den beiden Hauptkreisen I und II gibt je ein Nonius 5' an, während beim Hilfskreis III und den zwei Bogenstücken IV je ein Index zur Ablesung dient.

Die bei dem bisherigen Universaltisch durch den gewöhnlichen Drehtisch des Mikroskopes bewirkte Umdrehung des ganzen Tisches um eine senkrechte Achse fällt bei dem neuen Instrument fort: sie ist durch eine bequemere Vorrichtung zur Drehung der beiden Nicolschen Prismen (Polarisator P und Analysator A) ersetzt.

Zur Ablesung der Drehungswerte dient der Teilkreis N mit Grad-Teilung und Ablesung durch zwei Nonien 5'. Die gemeinsame Nicoldrehung wird durch die Verbindungs-Stange n bewirkt. Für gewisse Zwecke kann das aus- und einschaltbare analysierende Prisma A auch allein gedreht, und die Drehung an dem kleinen Halbkreis A^1 abgelesen werden. In diesem Fall trennt man die Verbindung zwischen der Stange n und dem Mitnehmer-Arm a dadurch, daß man den Tubus mit Hilfe seiner Triebbewegung so weit hochhebt, bis der Arm a über der Stange n steht. Dreht man nun die Stange n zur Seite, so kann die Drehung des analysierenden Nicols allein erfolgen.

Zur besseren Beobachtung des Achsenaustritts bei starken Neigungswinkeln werden jedem Mikroskop zwei Halbkugel-Linsen beigegeben, von denen die eine, und zwar die größere, unter dem gläsernen Tisch des Hilfskreises III mit Hilfe einer besonderen Fassung zentrisch angekittet (mit dickem Zedernholz-Öl oder dgl.) werden kann. Die obere kleinere Halbkugel-Linse von 12 bis 14 mm Durchmesser ist in eine schmale, auf dem Tisch mit zwei Schrauben leicht abnehmbar zu befestigende Fassung eingesetzt und ruht unter Vermittlung von Zedernholz-Öl federnd auf der Oberfläche des Präparats bezw. des Deckglases. Um die Drehbarkeit des Objekttisches mit dem darauf liegenden Präparat bei der Verwendung stärkerer Objektive zu erhöhen, empfiehlt es sich, das obere Halbkugel-Segment nach einem Vorschlag von W. *Sokolow* (Petersburg) nicht mehr wie bisher fest in eine Metallplatte zu fassen, sondern unter Verwendung von Immersionsöl (Zedernholz-Öl) zentrisch in die Öffnung einer 0,5 mm starken Metallplatte einzulegen.

Man kann bei der v. *Fedorowschen* Theodolit-Methode auch ohne Anwendung eines Linsensatzes für konvergentes Licht (S. 13) Interferenz-Figuren in konvergentem Lichte beobachten. Dabei benutzt man die dem Theodolit-Mikroskop beigegebenen Halbkugel-Segmente. Man hebt bei dieser Beobachtungs-Methode den Tubus mit dem betreffenden Beobachtungs-Objektiv so weit, bis man das in der oberen Bildebene des oberen Halbkugel-Segments entstehende Interferenz-Bild direkt beobachten kann. Bei Anwendung des Objektivs Nr. 4 (Äquivalent-Brennweite 14 mm) ist der Tubus z. B. so weit zu heben, daß der Abstand zwischen Objekt und Objektiv etwa 25 mm beträgt.

Der Polarisator-Nicol kann mit Hilfe einer Zahn- und Triebbewegung in der üblichen Weise gehoben und gesenkt werden. Zur Beleuchtung des Präparats dient eine über dem Polarisator-Nicol aufgeschraubte, schwach konvexe Linse, über die gewünschten Falles noch ein Linsensatz für konvergentes Licht gestülpt werden kann.

Der Tubus hat die bekannte Einrichtung der modernen mineralogischen Mikroskope. Statt des über dem Objektiv befindlichen, unter 45° zum Hauptschnitt liegenden Schlitzes (S. 15) hat W. *Nikitin* vorgeschlagen, zwei im rechten Winkel zueinander stehende und in den beiden Hauptschnitten des Mikroskopes liegende Schlitze zur Einführung verzögernder Platten und des drehbaren *Nikitin*-Kompensators anzubringen. Von der Anbringung einer Fein-Einstell-Einrichtung am Tubus wurde abgesehen, da bei der Theodolit-Methode nur schwache oder allenfalls mittelstarke Vergrößerungen in Frage kommen, bei denen eine gutgehende Zahn- und Trieb-Bewegung zur Scharf-Einstellung vollkommen ausreicht. Das Okular-Ende des Tubus ist nach dem Vorschlag von *Wright* mit einer Einrichtung zum Einschieben von Schlitten versehen, die je nach Bedarf mit Mikrometer, Koordinaten-Netz, verzögernden Plättchen aus Gips und Glimmer sowie Kompensatoren verschiedener Art ausgerüstet werden. Nach dem Vorschlag von W. *Nikitin* kann das Okular-Ende auch so eingerichtet werden, daß man den Okularansatz um 90° drehen und festklemmen kann, so daß man die in den Okulardurchbruch einzuschiebenden Präparate und Objekte senkrecht und parallel zum Hauptschnitt des Mikroskopes einzuführen vermag.

Neuerdings hat G. *Friedel* vorgeschlagen, den Wrightschen Okularteil um 180° drehbar einzurichten, zur genauen *Bestimmung geringster Doppelbrechung* unter Verwendung einer $^1/_4$ Und. Glimmerplatte, die in die Öffnung des Wrightschen Okulars eingeschoben und darin nach Bedarf gedreht werden kann.

Die *Friedelsche*, sehr genaue Werte liefernde Methode zur Bestimmung der Doppelbrechung bedingt die Anwendung eines über dem

Okular befindlichen drehbaren Analysators, dessen Fassung eine Gradteilung besitzt, sodaß man noch halbe Grade sicher ablesen kann. Bei der Friedelschen Methode wird folgendermaßen verfahren: Man bringt die zu messende Platte zwischen gekreuzte Nicols und diese durch Drehen des Objekttisches in jene Stellung, in der völlige Auslöschung eintritt; dann wird die zu untersuchende Platte um genau 45° gedreht. Man führt zunächst die 1/4 Und. Glimmerplatte in den Schlitz des Wrightschen Okulars ein, kreuzt die beiden Nicols (Polarisator und oberen Analysator) genau zueinander, entfernt die 1/4 Und. Glimmerplatte wieder und stellt nunmehr durch Drehen des Kreises II am v. Fedorowschen Tisch die zuvor auf die Tischplatte III aufgelegte Kristallplatte in die Auslöschungsstellung, worauf man die Kristallplatte mit Hilfe des Kreises II um genau 45° dreht. Nunmehr schiebt man die 1/4 Und. Glimmerplatte wieder ein und dreht den oberen Analysator um den erforderlichen Betrag. Die Drehung am oberen Analysator gibt dann sofort die Verzögerung (n—n′) der Kristallplatte an.

Fünftes Kapitel.

Prüfung und Justierung des Mikroskops.

Bei einem fehlerfreien mineralogischen Mikroskop müssen alle Drehungen, Bewegungen, Triebführungen und Ausschaltvorrichtungen am Tubus und Kondensor bei der Prüfung gut und sicher arbeiten.

1. Prüfung der Objekttisch-Drehung. Wichtig ist, daß der drehbare Objekttisch sich gut und sanft drehen läßt, ohne dabei eine seitliche Verschiebung (Dezentrierung) zu erleiden. Die Prüfung des drehbaren Tisches geschieht derart, daß man zunächst irgend ein Objekt unter Verwendung eines stärkeren Objektivs von etwa 3—5 mm Brennweite gut zentriert; dies geschieht dadurch, daß man eine bestimmte Stelle im Präparate unter Drehung des Objekttischs mit Hilfe der Objektiv-Zentriervorrichtung (C u. C_1 in Abb. 14) möglichst genau zentrisch zum Fadenkreuz des Okulars zu bringen sucht. Ist die Zentrierung erfolgt, und erleidet das Objekt während man den Objekttisch dreht, keine plötzlichen Veränderungen, so ist die Lagerung des Drehzapfens (Konus) am Objekttisch exakt. Macht das anvisierte Objekt dagegen während der Drehung des Tisches sprungartige Bewegungen oder verläßt es seine an eine Kreislinie gebundene Bahn, so läßt die Tischdrehung zu wünschen übrig und bedarf entsprechender Korrektur. Ob der Drehzapfen des drehbaren Tisches genau in sein Lager eingepaßt ist, läßt sich bei der Benützung eines stark vergrößernden Objektivs auch dadurch erkennen, daß man in verschiedenen Tisch-Stellungen mit je einem Finger der beiden Hände einen geringen zentralen Druck gegen den Rand des Drehtisches ausübt und dabei beobachtet, ob sich irgend ein in nächster Nähe vom Kreuzungspunkt der Okular-Fäden befindliches Objekt hin und her bewegt. Der mit den Fingern auszuübende Druck muß natürlich sanft sein, denn bei starker Vergrößerung und starkem Druck wird sich immer eine geringe Ortsveränderung des anvisierten Objekts zeigen. Diese Orts-Veränderung darf aber auf alle Fälle nur gering sein, wenigstens bei einem kostspieligen, auch zu Meßzwecken dienenden Mikroskop. Vollkommen feststehen kann bei seitlichem Druck gegen den Objekttisch der anvisierte Punkt im Präparat niemals, weil die Drehung des Objekttisches nur dadurch möglich ist, daß, wenn der gefettete Drehzapfen des Tisches mit etwas „Luft" oder Zwischenraum in seinem Lager sitzt.

2. Prüfung der Zentriervorrichtung für die Objektive (Abb. 14). Man zentriert unter Verwendung des schwächsten, dem betreffenden Mikroskop beigegebenen Objektivs irgend eine beliebige kleine aber hervorstechende Stelle in einem Präparat. Die Zentriervorrichtung ist in Ordnung, wenn nach erfolgter Zentrierung die Bewegung beider Zentrierschrauben gestattet, das zentrierte Objekt noch um einen mäßigen Betrag nach beiden Seiten hin über den Kreuzungspunkt des Okular-Fadenkreuzes hinaus zu bewegen. Die Bewegungsrichtung beider Zentrier-Schrauben soll auch einigermaßen mit den beiden Hauptschnitten des Mikroskops oder den beiden Armen des Okular-Fadenkreuzes zusammenfallen, bezw. damit parallel verlaufen.

3. Prüfung des Kondensors. Mit Rücksicht auf die geringe Größe der Kondensoren bei den meisten mineralogischen Mikroskopen ist eine möglichst genaue Zentrierung sehr erwünscht, besonders bei Beobachtungen in konvergentem polarisiertem Licht (S. 13). Um die Zentrierung des Konden-

sors zu prüfen, schaltet man den oberen, für konvergentes Licht bestimmten Kondensorteil ein und überzeugt sich mit Hilfe eines zuvor genau zentrierten, möglichst schwach vergrößernden Objektivs, ob die obere Linse zentrisch zur optischen Achse des Mikroskops steht. Ist das ein- und ausschaltbare Linsensystem mit dem drehbaren Objekttisch, wie das sehr häufig der Fall ist, fest verbunden, so braucht man nur den Tisch zu drehen und das durch den Beleuchtungsspiegel in der Tisch- oder der Objektebene entworfene Bild irgend eines entfernten Gegenstandes zu beobachten. Wenn dieses Bild während der Drehung des Objekttisches auf seinem Ort verbleibt, so ist der Kondensor sehr gut zentriert. Schwankt das Bild dagegen im Sehfeld des Okulars, so ist eine Dezentrierung des Kondensors vorhanden, die unbedingt (vom Mechaniker) beseitigt werden muß. Steht das gesamte Kondensor-System fest, ist also auch das obere Glied nicht mit dem Tisch drehbar verbunden, so stört eine geringe Exzentrizität weniger. Um zu prüfen, ob in diesem Falle die Zentrierung des Kondensors in ausreichendem Maße durchgeführt ist, genügt es, ein Blech- oder Pappscheibchen mit einem Loch von 1 bis 2 mm Weite zentrisch über die obere Kondensorlinse zu legen, und mit Hilfe eines zuvor zentrierten schwachen Objektivs zu prüfen, ob dieses Loch einigermaßen symmetrisch zum Okular-Fadenkreuz liegt.

4. Prüfung der Okular-Fadenkreuze. Die Kreuzfäden der Okulare sollen wenigstens annähernd parallel, bezw. senkrecht zur Symmetrie-Ebene des Mikroskops stehen. Man prüft die richtige Lage der Fäden, indem man die Okulare nacheinander auf ein geeignetes Objekt, etwa einen gerade verlaufenen Spaltungsriß eines Minerals (z. B. Anhydrit) oder auf einen in einen Objektträger geritzten geraden, feinen Strich richtet, der durch Drehen des Tisches einem der Okularfäden parallel gestellt ist. Bei einer Drehung des Tisches um 90° muß das Objekt den zweiten Faden decken. Abweichungen können mit einem Rohrschlüssel, dessen Zacken in die Kerben der die Fadenkreuze tragenden Diaphragmen eingreifen, durch Drehung der letzteren korrigiert werden.

5. Prüfung der Lage der Nicolschen Prismen. Zur Orientierung der Polarisatoren (Nicolschen Prismen), deren Polarisationsebenen mit den Kreuzfäden der Okulare zusammenfallen müssen, kann man sich verschiedener Methoden bedienen.

Die erste Methode beruht auf der Anwendung gewöhnlicher Kristalle oder Spaltplättchen von solchen, die ein zuverlässiges Mittel zur genauen Justierung der Nicol-Hauptschnitte bieten, wenn man in folgender Weise verfährt: Man stellt die Kante des auf ein Objektglas gekitteten Anhydrit-Spaltplättchens zwischen die gekreuzten Nicols genau parallel zu einem Arm des Fadenkreuzes und dreht den Polarisator, bis der Kristall von dem übrigen verdunkelten Teil des Sehfeldes nicht mehr zu unterscheiden ist. Dann prüft man durch Drehen des über dem Okular befindlichen Analysators, ob nicht in irgend einer Stellung der Kristall wieder sichtbar wird. Wenn dies der Fall ist, so muß der gleichmäßige Farbenton des Sehfeldes durch eine geringe Drehung des Polarisators wieder hergestellt werden. Diese Korrektur muß solange fortgesetzt werden, bis der Kristall bei einer vollen Umdrehung des Analysators völlig unsichtbar bleibt und somit die Schwingungsrichtungen im Kristall und im Polarisator zusammenfallen. — Ist das zu prüfende Mikroskop mit zwei Analysatoren (einem im Tubus eingeschlossenen und einem über dem Okular befindlichen) ausgerüstet, so erfolgt die Prüfung und Berichtigung des im Tubus eingeschlossenen Analysators in ähnlicher Weise wie zuvor, nur mit dem Unterschied, daß die erforderlichen Korrekturen nur am Tubus-Analysator ausgeführt werden, da der Polarisator ja bereits vorher berichtigt worden ist. Statt eines Anhydrit-Spaltplättchens läßt sich auch ein fadenförmiger Kristall, z. B. Quarz aus dem Riesengrund an der Schneekoppe, anwenden.

Die zweite Methode zur Nicol-Justierung beruht auf der Anwendung künstlicher, in ein Okular eingesetzter Platten, der sog. Calderonschen Kalkspat-Doppelplatte oder der 4fachen Bertrandschen Quarzplatte. Wenn die Fassungen des Polarisators und Analysators mit ihren Teilungen oder Orientierungsmarken auf Null eingestellt sind, sollen die beiden Hälften der Calderonschen Platte in gleichem Halbschattenton beleuchtet und bei Anwendung des Bertrandschen Okulares die vier Sektoren der Quarzplatte in gleichem Farbenton erscheinen. Trifft dies nicht zu, so steht die Polarisationsebene des einen oder des anderen Nicols oder beide nicht richtig zu der Platte; die Nicols müs-

sen dann in ihren Fassungen gedreht werden. Die Drehung bewirkt man durch passende Rohrschlüssel.

Mittels des Calderonschen Okulars führt man die Justierung zweckmäßig in folgender Weise aus: Nachdem die Schnittfuge der Calderonschen Platte in der oben angegebenen Weise mit dem einen von vorn nach hinten verlaufenden Faden der übrigen Okulare parallel gestellt ist, prüft man unter kurzen raschen Drehungen des über dem Okular befindlichen Analysators, ob beide Schattenhälften gleich stark beleuchtet sind. Trifft dies nicht zu, so muß man den Polarisator-Nicol so lange in seiner Fassung drehen, bis die während der Analysatordrehung beobachtenden Beleuchtungs-Maxima gleich groß sind. Sobald dies erreicht ist, hat man nur noch den Analysator in seiner Hülse zu drehen, bis die Calderonsche Platte in gleichmäßigem Halbschattenton erscheint, wenn der Nullstrich auf der Teilung der Analysatorhülse mit dem festen Indexstrich zusammenfällt. Die Justierung des Analysators läßt sich sehr rasch vollziehen, wenn man, nachdem die Staubglasfassung oben abgeschraubt ist, den Nullpunkt der Analysatorteilung mit dem festen Index zur Deckung bringt, den Analysator in dieser Stellung mit der linken Hand gut festhält und nun den Nicol mittels des ziemlich kurzen Rohrschlüssels unter gleichzeitiger Beobachtung solange dreht, bis in der Calderonschen Platte Schattengleichheit eingetreten ist.

Es bleibt dann noch übrig, auch den im Tubus befindlichen Analysator zu orientieren. Zu diesem Zweck entfernt man den Polarisator und betrachtet gewissermaßen den Tubus-Nicol als Polarisator. Da aber dessen Schwingungsebene parallel zum Aufsatz-Analysator steht, bringt man den letzteren aus seiner 0°-Stellung in die 90°-Stellung und dreht dann den Tubus-Nicol, bis wieder gleichmäßiger Halbschatten über der Calderonschen Platte lagert.

Die Orientierung der Nicol-Hauptschnitte unter Anwendung des Bertrandschen Okulars erfolgt ganz in der vorstehend erläuterten Art und Weise, nur tut man in diesem Falle gut, zur Nachprüfung ein auf dem Objekttisch befestigtes Anhydrit-Spaltplättchen heranzuziehen, dessen Kante genau parallel zur Schnittfuge der Platte gestellt ist. Die Orientierung der Nicols ist richtig, wenn in der genannten Stellung des Anhydrit-Plättchens gleiche Färbung der vier Quadranten der Bertrandschen Platte eintritt. Viele Beobachter reagieren auf den zwischen parallel gestellten Nicols entstehenden (rötlich-gelben) Farbenton besser als auf den blauen (teinte de passage) zwischen gekreuzten Nicols.

6. Prüfung der Bertrandschen Linse. (Hilfsobjektiv). Die Prüfung der richtigen Lage der Bertrandschen Linse geschieht dadurch, daß man unter Benützung des zugehörigen Okulars und eines stärker vergrößernden Objektivs (z. B. eines Objektivs von 3—5 mm Äquivalent-Brennweite) auf das Achsenbild einer genau senkrecht zur optischen Achse geschnittenen Kristallplatte (am geeignetsten ist eine Kalkspat-Platte) einstellt. Bei richtiger Lage der Bertrand-Linse muß das Achsenkreuz die Mitte des Gesichtsfeldes schneiden. Vor der Prüfung ist dafür zu sorgen, daß das benutzte Beobachtungsobjektiv einigermaßen gut zentriert ist (mittels der beiden Schrauben am unteren Tubusrand). Wegen der weniger sicheren Lage der Bertrandschen Linse in ihrem ausziehbaren Schieber werden die theoretisch an die Zentrierung zu stellenden Anforderungen nicht streng erfüllt werden können. Geringe Abweichungen beeinträchtigen aber die mit dieser Vorrichtung auszuführenden Beobachtungen und Messungen auch durchaus nicht. Für Messungen ist es von viel größerer Wichtigkeit, daß die Bertrandsche Linse stets gleich weit von dem Meßokular, mit dem sie verbunden ist, entfernt bleibt.

Sechstes Kapitel.

Okulare und Objektive.

Die gewöhnliche Okularausrüstung der mineralogischen Mikroskope setzt sich in der Regel aus einigen Okularen mit Kreuzfäden, einem zu Meßzwecken dienenden Mikrometer-Okular und einem zur genaueren Bestimmung von Auslöschungsschiefen dienenden sog. Stauroskop-Okular nach Calderon oder Bertrand (S. 24) zusammen. An jedem dieser

Okulare befindet sich ein vorspringender Schraubenkopf, der, in einen Schlitz des Tubus einfallend, die Orientierung der Fäden, bezw. der Calderonschen oder Bertrandschen Platte herstellt.

Die zu mineralogischen Studien benutzten Objektive unterscheiden sich von der gebräuchlichen Konstruktion in keiner Weise. Am mineralogischen Stativ kann also jedes beliebige gute Objektiv verwendet werden, das frei von Spannung (Doppelbrechung) ist.

In den nachfolgenden beiden Tabellen sind die wichtigsten Daten der Okulare und Objektive, wie sie z. B. den mineralogischen Mikroskopen der Firma R. Fueß beigegeben werden, zusammengestellt.

Okular-Bezeichnung Nr.	Brennweite in mm	Eigen-vergrößerung
1 (Huygens)	57	4,4
2 „	45	5,6
3 „	30	8,3
4 „	21	12
5 (Ramsden)	31	8,1
6 „	28	8,9

Objektiv-Bezeichnung, zugleich Brennweite in Millimeter	Numerische Apertur	Öffnungswinkel	Vergrößerung bei 200 mm Tubuslänge und ausgeschaltetem Tubusnicol mit Okular Nr.						Objektives Sehfeld bei Benützung des Okulars Nr. 2	Freier Objekt-Abstand
			1	• 2	3	4	5	6		
48 (Trockenobjektiv)	0,09	10°	11	15	21	34	26	29	6,6	52 mm
32 „	0,1	11°	20	27	38	60	46	50	3,75	21 „
22 „	0,21	24°	33	45	63	100	77	83	2,2	13 „
17 „	0,21	24°	45	61	86	135	100	108	1,65	10 „
14 „	0,26	30°	58	76	108	170	128	135	1,3	7 „
10 „	0,32	38°	80	108	150	235	176	190	0,92	4 „
5 „	0,82	110°	170	225	320	500	370	400	0,45	0,5 „
3 „	0,82	110°	300	405	560	900	660	700	0,26	0,3 „
2,5 (Öl-Immers.)	1,25	110°	355	480	680	1070	780	840	0,21	0,24 „
1,8 „	1,30	118°	470	620	880	1400	1020	1100	160	0,18 „

Siebentes Kapitel.

Bestimmung der Vergrößerung und der Sehfeldgröße.

Das im Mikroskop beobachtete Bild wirkt auf das Auge wie ein in normaler Sehweite (250 mm) deutlich wahrgenommener Gegenstand. Um ein Maß für die Vergrößerung jeweiliger Objektiv-Okular-Zusammenstellung zu erhalten, bringt man auf dem Tisch des Mikroskops einen in Hundertstel-Millimeter geteilten Maßstab, ein sog. Objekt-Mikrometer (1 mm in 100 Teile geteilt) und neben dem Mikroskop einen gewöhnlichen in Millimeter geteilten Maßstab an, der sich 250 mm von der Augenlinse des Okulares entfernt befinden soll. Betrachtet man dann mit dem einen Auge das mikroskopische Bild des Objekt-Mikrometers, mit dem anderen gleichzeitig den Vergleichsmaßstab und bringt beide zur Deckung, so erhält man die Vergrößerung, wenn man die Länge des Bildes durch die wirkliche Größe des abgebildeten Objekt-Mikrometers dividiert. Fallen z. B. 110 mm des Vergleichsmaßstabes mit 50 Teilen des Objektmikrometers, also mit $\frac{5}{10}$ mm, zusammen, so beträgt die Vergrößerung $\frac{110}{0,5} = 55$. Die Vergrößerungszahlen der vorstehend gegebenen Tabelle sind auf diese Weise ermittelt worden.

Die Sehfeldgröße für eine bestimmte Okular-Objektiv-Zusammenstellung ermittelt

man gleichfalls unter Anwendung des sog. Objekt-Mikrometers. Man stellt darauf ein und zählt die Anzahl der Teile, die man im Gesichtsfeld des Okulars überblickt. Die Zahl dieser Teile gibt das Maß für die Größe des Gesichtsfeldes. Erblickt man z. B. von dem einen Rande des Gesichtsfeldes bis zum andern bei einer bestimmten Okular-Objektiv-Zusammenstellung 67 Intervalle des Objekt-Mikrometers, so ist das objektive Sehfeld dieser Kombination 0,67 mm groß.

Achtes Kapitel.

Apparate zur Erzeugung einfarbigen Lichtes.

Kristalloptische Untersuchungen, wie sie mit jedem besseren mineralogischen Mikroskop ausgeführt werden können, bedingen die Anwendung einfarbigen oder homogenen Lichtes. Man erhält dieses Licht auf verschiedene Art. Die älteste und noch viel gebräuchliche Methode ist die Anwendung homogener Leuchtflammen. Für viele Zwecke genügen auch die neuerdings hergestellten farbigen Filter, während für genaue Untersuchungen ausschließlich die sog. Monochromatoren in Frage kommen.

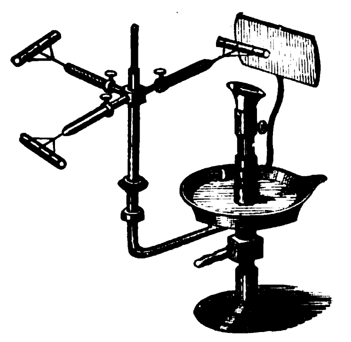


Abb. 19. Lampe für homogenes Licht nach Laspeyres.



Abb. 20. Monochromatische Filter.

1. Lampe für homogenes Licht nach Laspeyres (Abb. 19). Diese Lampe dient zur Erzeugung von rotem, gelbem und grünem Licht. Die zu verbrennenden Salze (Lithium, Natrium und Thalium) werden in die drei drehbar angeordneten, aus dünnem Platindraht hergestellten Röhrchen gebracht, so daß man im Augenblick von einer homogenen Lichtart zur anderen übergehen kann. Mit Hilfe dieser Lampe können Untersuchungen mit Licht von folgender Wellenlänge ausgeführt werden: Lithium = 670 μμ, Natrium = 589 μμ, Thalium = 534,5 μμ.

2. Monochromatische Filter. Wo es sich nicht um die Erzielung höchster Homogenität handelt, leistet die in Abb. 20 dargestellte Zusammenstellung von 7 monochromatischen Filtern (Größe 5 × 5 cm) recht gute Dienste, zumal die Verwendung solcher Filter außerordentlich bequem ist. Die eigentlichen Farbfilter sind zwischen zwei Spiegelgläsern eingeschlossen. Über die Homogenität oder Monochromasie dieser Filter gibt nachstehende Tabelle Aufschluß:

Bezeichnung der Filter	Durchlässig für Licht von:
a	650 μμ aufwärts
b	610—660 μμ u. ein schwaches Band über [690 μμ
c	590—620 „
d	555—595 „
e	520—550 „
f	465—520 „
g	410—470 „

Man rechnet bei der Benützung dieser Filter im allgemeinen mit der mittleren Durchlässigkeit, derart, daß man z. B. bei Filter c den „optischen Schwerpunkt" als bei 605 μμ liegend annimmt.

3. Monochromatoren. Als Monochromatoren bezeichnet man Spektralapparate, die zur Beleuchtung mit Licht bestimmter Wellenlänge dienen. Ein in weiteren Kreisen, insbesondere unter den Mineralogen, sehr bekannt gewordener und viel benützter, lichtstarker Monochromator wurde im Jahre 1896 von E. A. Wülfing angegeben; ein einfacherer, mehr für das Praktikum bestimmter und weniger lichtstarker Monochromator wurde später von W. Voigt vorgeschlagen. Eine abgeänderte Form des Wülfingschen Monochromators in Verbindung mit einem mineralogischen Mikroskop zeigt Abb. 21, während Abb. 22 einen Horizontalschnitt durch das optische System der Gesamt-Anordnung mit eingezeichnetem Strahlengang darstellt. Dieser Monochromator gehört zur Gattung der festarmi-

gen Spektralapparate. Die Fernrohre sind also unverrückbar angeordnet; sie stehen unter einem Winkel von 90° zueinander. Das Öffnungsverhältnis des Kollimator-Objektivs O_1 ist = f/4 und das des Austrittsrohrs O_2 = f/6. Als Dispersionssystem gelangt ein von Pellin und Broca angegebenes Prisma mit konstanter Ablenkung von 90° und etwa 3° Dispersion zwischen C—F zur Anwendung. Der Vorteil dieser Prismenform besteht darin, daß jeder in den Austrittsspalt geführte Teil des Spektrums stets im Minimum der Ablenkung steht. Die Bewegung oder Drehung des Dispersionssystems geschieht durch eine Schraube, deren Teiltrommel direkt nach Wellenlängen geteilt ist, sodaß eine Eichung des Apparats oder die Herstellung einer besonderen Wellenlängen-Kurve entbehrlich und gleichzeitig das Arbeiten wesentlich erleichtert ist. zeugt ein einigermaßen paralleles Lichtbündel. — In stark konvergentem Lichte, oder wenn es sich um die gleichmäßige Beleuchtung einer großen Fläche handelt, empfiehlt sich die Einschaltung einer mattgeschliffenen Glasscheibe, die in die verschiebbare Rohrfassung der Projektionslinse O_3 eingesteckt wird. Bei Beobachtungen und Messungen in konvergentem Licht am Mikroskop leistet diese Mattscheibe besonders gute Dienste.

An der Klemmvorrichtung für das Prisma befinden sich zwei kleine Justierschrauben, mit denen die Stellung des Prismas jederzeit leicht berichtigt werden kann. Vor Beginn einer Arbeit überzeugt man sich von der richtigen Justierung des Apparats dadurch, daß man das Licht einer homogenen Leuchtflamme, z. B. der Natriumflamme (S. 27), in den Eintrittsspalt fallen läßt und nachprüft, ob die Natriumlinie bei

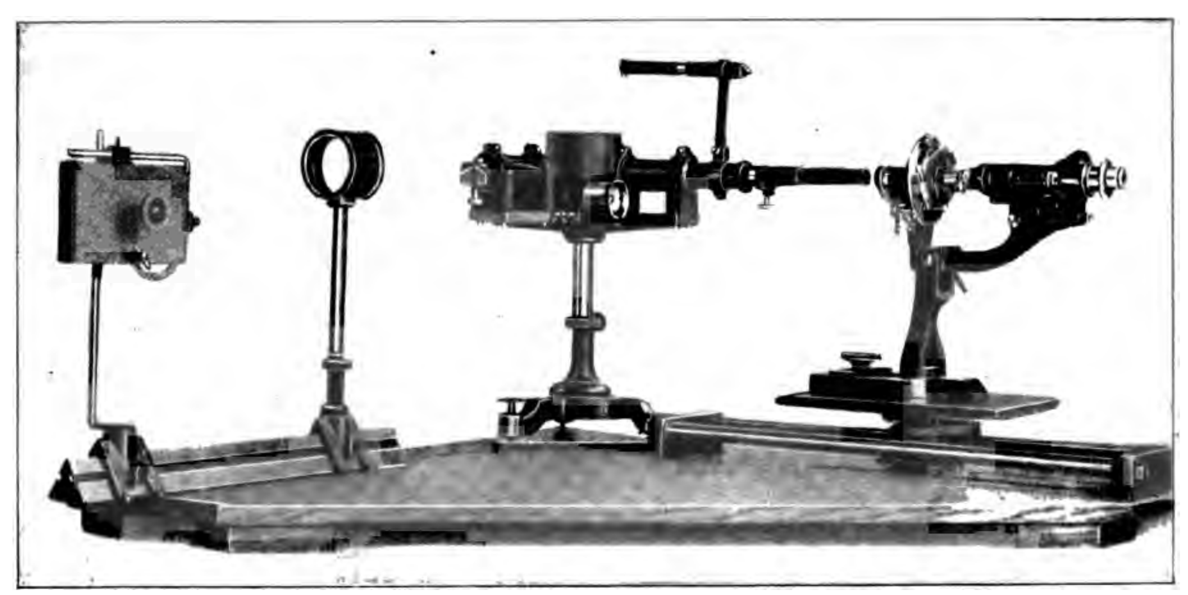


Abb. 21. Großer Monochromator in bequemer Verbindung mit Lichtquelle, Kondensor und Untersuchungsapparat.

der zugehörigen Trommelstellung, also bei 589,3 μμ, genau in der Mitte des Austrittsspaltes steht. Ist dies nicht der Fall, so führt man die richtige Stellung mit Hilfe der oben genannten kleinen Schrauben herbei.

Sp_1 (Abb. 22) ist der mit Vergleichsprisma versehene Eintrittsspalt, Sp_2 der Austrittsspalt. Beide sind symmetrisch. Vor dem Austrittsspalt befindet sich ein einschlagbares Mikroskop (Abb. 21) zur Kontrolle der Einstellung sowie zur Beobachtung der Spaltweite. In einer hinter dem Austrittsspalt Sp_2 befestigten Anschlußröhre für den Untersuchungs-Apparat befindet sich die achromatische Linse O_3, die dazu dient, entweder ein paralleles (∞) Lichtbündel in den Untersuchungsapparat zu senden oder ein Bild (1:1) des Austrittsspaltes auf den Spalt eines Spektrometers usw. zu projizieren. Die Linse O_3 ist in ihrer Röhre verschiebbar; zwei mit ∞ und 1:1 bezeichnete Marken zeigen die für die Linsen jeweils in Frage kommenden Stellungen an.

In der ersten Stellung, die bei der Verwendung des Monochromators in Verbindung mit dem Mikroskop allein gebraucht wird, stellt man die Projektionslinse O_3 auf das Zeichen ∞ ein. Die Linse befindet sich im Abstand ihrer Brennweite vor dem Austrittsspalt Sp_2 und er-

Zur **Beleuchtung des Monochromators** eignet sich neben Sonnenlicht am besten eine elektrische Lampe. In den weitaus meisten Fällen genügt eine der bekannten kleinen Bogenlampen mit Handregulierung und wagrecht liegender Positivkohle, eingerichtet für eine Stromstärke von etwa 4 Amp., wie sie von den meisten optischen Werkstätten, beispielsweise von Fueß (Steglitz bei Berlin), Leitz (Wetzlar), Reichert (Wien), Winkel (Göttingen) und Zeiß (Jena) geliefert werden. In Abb. 21 ist eine derartige Lampe mit dargestellt. Zur Erhöhung der Lichtstärke ist zwischen Lichtquelle und Eintrittsspalt Sp_1 ein sog. achromatischer Kondensor eingeschaltet, der ein Bild der Lichtquelle — im vorliegenden Falle des positiven Kraters — auf den Austrittsspalt projiziert.

Neuntes Kapitel.

Hilfsapparate zum mineralogischen Mikroskop.

1. Mikrometer-Okular. Als Mikrometer- oder Meß-Okular bezeichnet man ein gewöhnliches Huygens- oder Ramsden-Okular, in dessen Bildebene sich an Stelle der gewöhnlichen Blende, bezw. des Fadenkreuzes eine auf Glas aufgetragene, in Zehntel-Millimeter geteilte Skala (s. z. B. Abb. 107) befindet. Dieses Okular kann in Verbindung mit jedem beliebigen Objektiv gebraucht werden. Um den Wert des

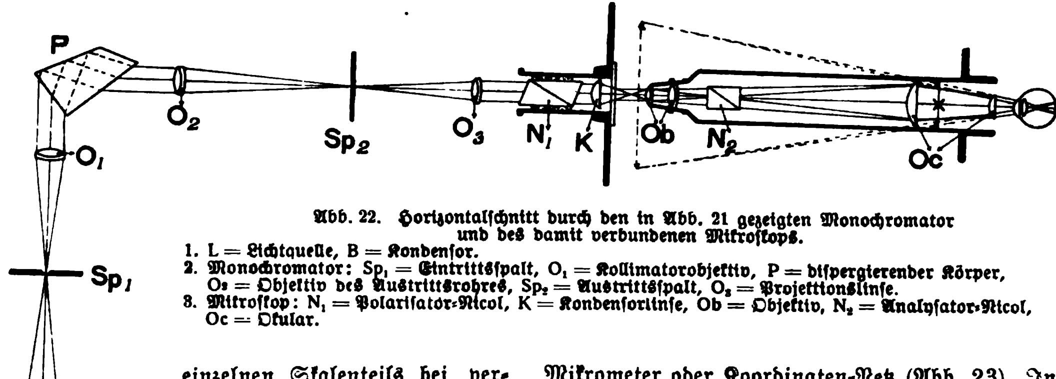


Abb. 22. Horizontalschnitt durch den in Abb. 21 gezeigten Monochromator und des damit verbundenen Mikroskops.
1. L = Lichtquelle, B = Kondensor.
2. Monochromator: Sp_1 = Eintrittsspalt, O_1 = Kollimatorobjektiv, P = dispergierender Körper, O_2 = Objektiv des Austrittsrohres, Sp_2 = Austrittsspalt, O_3 = Projektionslinse.
3. Mikroskop: N_1 = Polarisator-Nicol, K = Kondensorlinse, Ob = Objektiv, N_2 = Analysator-Nicol, Oc = Okular.

einzelnen Skalenteils bei verschiedenen Vergrößerungen zu kennen, ist es nötig, das Mikrometer-Okular bezw. dessen Mikrometerskala in Verbindung mit denjenigen Objektiven, mit denen es benützt werden soll, auszuwerten. Dies geschieht mit Hilfe eines Objekt-Mikrometers, eines auf den Objekttisch aufzulegenden Glasplättchens mit einer in Hundertstel-Millimeter geteilten Skala (s. S. 83). Nehmen wir ein gewöhnliches Huygenssches Okular mittlerer Vergrößerung, z. B. No. 2 als Meßokular und dazu ein Objektiv von etwa 14 mm Äquivalent-Brennweite, so werden wir bei Scharfeinstellung auf das Objekt-Mikrometer finden, daß die 100 Teile der Okular-Skala beispielsweise rund 105 Teile des Objekt-Mikrometers decken. Da der wahre Wert eines Teiles des durch das Mikroskop beobachteten Objekt-Mikrometers gleich 0,01 mm ist, ist der Wert eines Teiles im Okular-Mikrometer bei der betr. Objektiv-Okular-Zusammenstellung gleich 0,0105 mm. Hätten wir hingegen ein Objektiv von etwa 5 mm Äquivalent-Brennweite mit demselben Mikrometer-Okular kombiniert, so würden, da die Vergrößerung stärker ist (s. S. 26), die 100 Teile der Okular-Skala vielleicht nur 35 Teilen des Objekt-Mikrometers entsprechen; der Wert eines Skalen-Teiles des Okular-Mikrometers wäre also $= \frac{0{,}35}{100} = 0{,}0035$ mm.

Über die Verwendung eines solchen Mikrometer-Okulars zur Ausmessung der Interferenz-Bilder zweiachsiger Mineralien unter Zuhilfenahme einer sogenannten Schwarzmannschen Achsenwinkel-Skala ist die Darstellung auf S. 84 nachzulesen.

2. Okular zur Messung von Mengenverhältnissen. Während das vorgenannte Meß-Okular nur zu linearen Ausmessungen dient, benützt man zur Bestimmung der Mengen-Verhältnisse der verschiedenen Mineralien in einem Dünnschliff an Stelle der gewöhnlichen Skala des Mikrometer-Okulars ein sogenanntes Netz-Mikrometer oder Koordinaten-Netz (Abb. 23). In der Regel sind die Maschen eines solchen, gleichfalls auf Glas geteilten Netzes 0,5 qmm groß; für besonders feine Messungen verwendet man aber auch Koordinaten-Netze mit 0,1 qmm großen Maschen. Bei beiden Netzen sind die Striche der

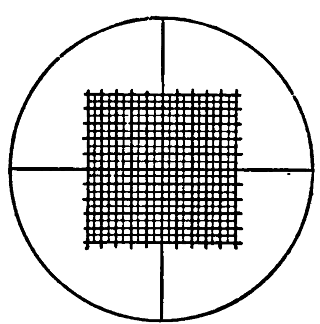


Abb. 23. Gesichtsfeld des Okulars zur Messung der Mengenverhältnisse.

1/1 Millimeter, um einen schnelleren Überblick zu gewinnen, etwas kräftiger gezogen, bei 0,1 mm-Netzen auch die ½ mm-Striche.

3. Okular-Schraubenmikrometer. Für sehr genaue Längenmessungen im Sehfeld benützt man das Okular-Schrauben-Mikrometer (Abb. 24). Beim mineralogischen Mikroskop wird es besonders in Verbindung mit der Bertrandschen Linse zur Messung der scheinbaren Entfernungen der optischen Achsen behufs Berechnung des Achsenwinkels (s. S. 83) benützt.

In einem rechteckigen Metallgehäuse (Abb. 24) ist mittels Mikrometerschraube und Gegenfeder

ein Schlitten verschiebbar, in dessen zentraler Bohrung eine Blende eingesetzt ist, die ein von 2 Spinnfäden gebildetes sogenanntes Andreas-Kreuz trägt, dessen Arme vorn und hinten einen Winkel von 30° mit einander bilden; ein dritter Faden verläuft parallel zur Bewegungsrichtung des Schlittens. Die Größe der Schlittenbewegung beträgt in der Regel 12 mm; an einer in 0,5 mm geteilten Längs-Skala können die vollen Umdrehungen der Meß-Schraube, deren Steigung also 0,5 mm beträgt, abgelesen werden. Ein Intervall der in 100 Teile geteilten Trommel entspricht 0,005 mm im Objektiv-Bild. Damit die Ausmessung stets in der Mitte des Sehfeldes vorgenommen werden kann, ist das Okular mit dem Schlittenschieber gemeinsam beweglich. Die Einschiebehülse des Okulars trägt einen Teller zum Aufsetzen eines Analysators, falls ein solcher bei dem betreffenden Mikroskop nicht im Tubus aus- und einschaltbar angebracht ist. Am Boden des Schieber-Kastens ist ein Rohrstutzen mit vorspringender Leiste zum Einstecken in den Tubus vorhanden; zur sicheren



Abb. 24. Okularschraubenmikrometer.

Festklemmung des Apparats dient eine Klemmschraube.

Das Auswerten der Meßschraube, bezw. deren Teiltrommel bei Anwendung verschiedener Vergrößerungen geschieht ähnlich wie bei dem auf S. 29 beschriebenen gewöhnlichen Mikrometer-Okular. Man legt das auf S. 29 erwähnte Objekt-Mikrometer auf den Objekttisch, stellt darauf scharf ein, bringt den Kreuzungspunkt des Fadenkreuzes im Okular-Schraubenmikrometer mit einem Teilstrich des Objekt-Mikrometers zur Deckung, dreht die Schraube, bis der Kreuzungspunkt mit dem folgenden Teilstrich des Objekt-Mikrometers zusammenfällt und liest nunmehr die Trommelstellung am Schraubenmikrometer ab. Benützen wir ein Objektiv von etwa 5 mm Äquivalent-Brennweite und erfordert ein Teil des vergrößerten Objektmikrometers eine Drehung des Schraubenmikrometers um 115 Teilstriche, so beträgt der Wert eines einzelnen Intervalls am Schraubenmikrometer $\frac{0,01}{115} = 0,000087$ mm. Handelt es sich um ein Objektiv von 14 mm Brennweite und erfordern bei dieser schwächeren Vergrößerung 3 Teile des Objektmikrometers eine volle Umdrehung der Trommel, also 100 Intervalle, so beträgt der Wert des einzelnen Intervalls an der Trommel des Schraubenmikrometers für diese Vergrößerung $\frac{0,03}{100} = 0,0003$.

Abb. 24 zeigt das Okular-Schraubenmikrometer mit einem zweiten zum ersten senkrecht stehenden Schlitten, wie es neuerdings von F. E. Wright für die genaue Ausmessung von Interferenz-Figuren vorgeschlagen worden ist.

Von den meisten optischen Werkstätten wird jedem mit einem Okular-Schraubenmikrometer ausgerüsteten Mikroskop eine Tabelle beigegeben, in der die absoluten Werte der Trommel-Intervalle für die bei einer bestimmten Tubuslänge erhaltenen Vergrößerungen eingetragen sind.

4. Zeichenapparate. Zu den wichtigsten und am häufigsten benützten Hilfsapparaten gehören die Zeichenapparate, die in vielerlei Formen hergestellt werden. Die vollkommenste Konstruktion ist jedoch zweifellos der von Abbe angegebene und von C. Zeiß in Jena zuerst eingeführte Abbesche Zeichenapparat (Abb. 25), der heute von allen optischen Werkstätten geliefert wird. Sein Hauptvorzug gegenüber andern Konstruktionen ist, daß bei ihm eine volle kreisförmige Austrittspupille zur Geltung kommt, so daß seine Benützung die Helligkeit des mikroskopischen Bildes nicht beeinträchtigt.

Der Apparat besteht im wesentlichen aus einem Glaswürfel, dem sog. Abbeschen Würfel W und einem an einem längeren Arm drehbar befestigten Spiegel Sp. Der Glaswürfel besteht aus zwei miteinander verkitteten rechtwinkligen Glas-Prismen, von denen das eine auf der Hypotenusenfläche versilbert ist. Von diesem Silberbelag bleibt in der Mitte der Hypotenusenfläche eine elliptische Öffnung frei, deren kleinster Durchmesser 1,5—2 mm beträgt. Die auf das Okular aufzuklemmende Fassung des Würfels W ist so eingerichtet, daß das kleine Loch im Würfel W in die Ebene der Austritts-Pupille eines mittleren Okulars fällt, sodaß man das in keiner Weise gestörte mikroskopische Bild über das ganze Sehfeld erblickt, während die von der Zeichenfläche, bezw. dem Zeichenstift durch den Spiegel Sp zurückgeworfenen, auf den Würfel treffenden und an der versilberten Hypotenusenfläche abermals reflektierten Strahlen in gleicher Richtung in das Auge (A) gelangen.

Beim Gebrauch des Apparates hat man eigentlich weiter nichts zu tun, als den Spiegel Sp so zu drehen, daß der Kreis des Sehfelds dicht neben den Fuß des Mikroskopes projiziert wird. Steht die versilberte Hypotenusenfläche des Würfels W parallel zur Fläche des Spiegels, so kann man auf einer zur Achse des Mikroskopes senkrechten Ebene zeichnen, bei vertikal stehendem Mikroskop also z. B. auf der Fläche des Arbeits-Tisches. Will man aber auf einer zur Mikroskop-Achse schief stehenden Fläche zeichnen, so muß man den Spiegel entsprechend drehen, damit das gezeichnete Bild keine Verzerrung erhält. Wäre z. B. beim vertikal stehenden Mikroskop die Zeichenfläche um 30° gegen die Tischfläche geneigt, so müßte der Spiegel um den halben Betrag, also um 15° gegen seine durch einen Anschlag markierte normale Stellung (45°) gedreht werden.

Will man feinere Einzelheiten genau nachzeichnen, so empfiehlt es sich, das mikroskopische Sehfeld und die Zeichenfläche möglich gleichmäßig zu beleuchten. Dies wird durch die jedem Zeichenapparat beigegebenen verschiedenen getönten „Rauchgläser" erleichtert, die in kleine Rahmen, die zwischen dem Spiegel Sp und dem Würfel W (und zwar möglichst nahe beim Würfel W) angebracht sind, eingesteckt werden können. Einzelne Firmen ersetzen die losen photographische Kamera aus, deren Hauptvorzug darin besteht, daß man damit beim Mikroskopieren Aufnahmen ohne besondere Vorbereitungen und unter den gewöhnlichen Verhältnissen (bei Tages- oder Lampenlicht) machen kann. Die Kamera wird in 2 Größen hergestellt; die eine ist für Platten 7 × 7 cm, die andere für Platten 9 × 12 cm eingerichtet. Bei Verwendung von Einlegerahmen lassen sich auch kleinere Platten benützen.

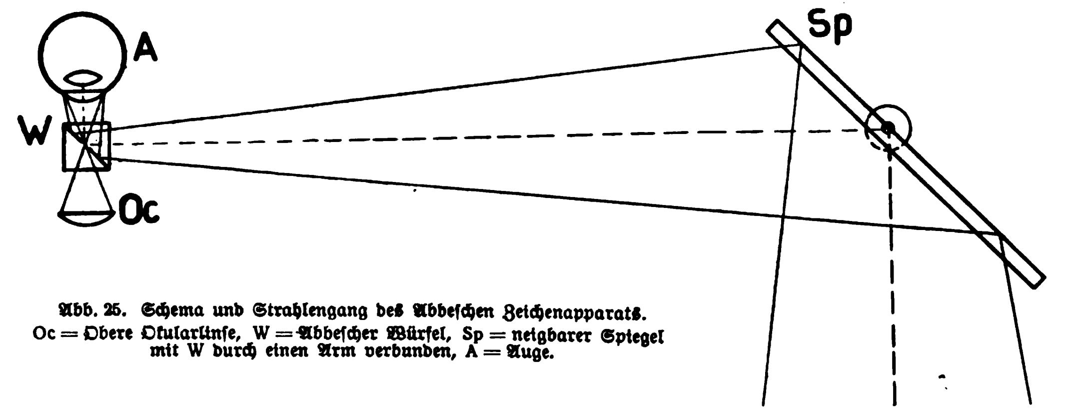


Abb. 25. Schema und Strahlengang des Abbeschen Zeichenapparats. Oc = Obere Okularlinse, W = Abbescher Würfel, Sp = neigbarer Spiegel mit W durch einen Arm verbunden, A = Auge.

Rauchgläser durch eine über die Fassung des Prismenwürfels geschobene, drehbare Kappe, die fünf verschieden gefärbte Rauchgläschen und eine freie Öffnung enthält, dazu an der Unterseite eine drehbare Scheibe mit Rauchgläschen derselben Farbe. Mit dieser Einrichtung läßt sich die Helligkeits-Übereinstimmung von Bild- und Zeichenfläche äußerst genau herstellen.

5. Mikrophotographische Apparate.[10]) Für die weitaus meisten Zwecke der mineralogischen Mikroskopie reicht die in den Abb. 26 a und b in zwei Ausführungsformen dargestellte, vom Verf. vorgeschlagene und zuerst von der Firma R. Fueß in Steglitz eingeführte einfache mikro-



Abb. 26 a. Aufsetzbare mikrophotographische Kamera.



Abb. 26 b. Aufsetzbare mikrophotographische Kamera mit Anschlußstück nach W. Scheffer.

Mit Ausnahme der Kassette und ihres Einschieberahmens ist die Kamera ganz aus Aluminium gefertigt. Das Gewicht des für 7 × 7 cm-Platten eingerichteten Apparates beträgt etwa 250 Gramm bei gefüllter Doppelkassette; dasjenige der Kamera 9 × 12 cm etwa 400 Gramm.

Zum Gebrauch wird die Kamera auf das Tubusende des Mikroskops gesetzt und mit diesem durch die gegen eine federnde Zunge wirkende Schraube S (Abb 26a) verbunden. Der scheibenförmige Ansatz ruht dabei auf dem gleichartigen mit dem Tubus verbundenen Ansatz (s. z. B. Abb. 8 u. 10), der sonst zum Aufsetzen des oberen Analysators dient. Auf dem oberen Ende der trichterförmigen Röhre T ist der aus leichtem Holz verfertigte Einschieberahmen R der Doppelkassette C befestigt. Auf die Visierscheibe, die mattiert oder klar sein kann, sind diagonal zwei

[10]) Eine ausführlichere Darstellung der „Apparate und Arbeitsmethoden der Mikrophotographie" enthält der im Frühjahr 1915 erscheinende, von Prof. Dr. E. Kaiserling bearbeitete mikrophotographische Teil des „Handbuchs der mikroskopischen Technik". Anm. d. Verl.

Linien aufgezogen, deren Kreuzungspunkt die Mitte des Sehfeldes angibt.

Die Länge der Kamera von der unteren Ansatzfläche bis zur Einstellebene beträgt 18 cm. Links von der Kamera ist an Abb. 26a ein Schieber Sch abgebildet, mit welchem die Belichtung geregelt wird. Beim Gebrauch wird er nach Lösen eines der beiden geränderten Schrauben-Knöpfe k oder k_1 in den über dem Objektiv-Gewinde unter 45° zum Hauptschnitt des Mikroskops befindlichen Schlitz (s. Abb. 12), der gewöhnlich zur Aufnahme von Gips- und Glimmer-Plättchen usw. dient, eingeschoben. Während der Beobachtung und Einstellung fällt die Schieber-Öffnung in die Achse des Mikroskops; der Knopf k markiert diese Stellung durch Anschlag gegen den Tubus. Ist die Visierscheibe nach vorgenommener Einstellung durch die Kassette ersetzt, so wird dem Licht durch leichten Druck gegen den Knopf k_1 der Zutritt verschlossen. Hierauf wird der Kassetten-Schieber geöffnet und nun die Schieber-Öffnung zur Belichtung der Platte durch Druck gegen k wieder in die ursprüngliche Stellung gebracht.

Soll die Kamera an einem Mikroskop befestigt werden, bei dem der erwähnte tellerförmige Ansatz nicht vorhanden ist, so wird sie, wie Abb. 26b zeigt, mit einem besondern, von W. Scheffer vorgeschlagenen Anschluß-Stück versehen. Die Befestigung erfolgt dabei mittels 5 Schrauben, von denen 2 Paar übereinander sitzen und gewissermaßen zum Ausrichten der Kamera dienen, während die dritte die eigentliche Klemmschraube ist. Diese Befestigungs-Art hat den Vorteil, daß sie die Verwendung der Kamera an jedem beliebigen Mikroskop gestattet.

Über die ungefähren Vergrößerungen, die sich mit dieser Kamera bei normaler Tubuslänge von etwa 160 mm erreichen lassen, gibt folgende Tabelle Aufschluß:

Objektive (Brennweite in mm)	32	22	17	14	10	5	3	2,5 (Öl-Imm.)	1,8 (Öl-Imm.)
Vergrößerung ohne Okular	10	15	20	25	33	68	125	165	175
Vergrößerung mit mittelstarkem Okular	14	25	30	38	52	105	205	270	375

Über die Belichtungszeit lassen sich bindende Angaben nicht machen, da die Dauer der Belichtung von der Art und der Entfernung der Lichtquelle, von der Empfindlichkeit der benützten Plattensorte, sowie von der Beschaffenheit des betr. Objektes und der jeweiligen Vergrößerung abhängt. Immerhin mag die nachstehende Tabelle einige Anhaltspunkte geben, die besonders Anfängern erwünscht sein werden.

Okular Nr. 1 in Verbindung mit Objektiv:	48	32	22	17	14	10	5	3	2,5 (Öl-Imm.)	1,8 (Öl-Imm.)
Vergrößerung	4	9	15	20	25	33	68	125	165	175
Belichtungszeit bei diffusem Tageslicht	2—3 Sek.	4 Sek.	7 Sek.	10 Sek.	14 Sek.	18 Sek.	22—23 Sek.	25—26 Sek.	28—30 Sek.	30 - 35 Sek.
Belichtungszeit bei Gasglühlicht. Entfernung der Lichtquelle vom Beleuchtungsspiegel etwa 30 cm.	10 Sek.	20 Sek.	20 Sek.	25 Sek.	30 Sek.	40 Sek.	65 Sek.	90-100 Sek.	120 Sek.	130 Sek.

Bei allen mit mineralogischen Mikroskopen zu machenden Aufnahmen empfiehlt es sich, Okulare zu benützen, da sonst die infolge der verschiedenen Einengungen im Tubus auftretenden Reflexe schädliche Wirkungen ausüben können. Ferner ist es ratsam, bei Aufnahmen im nicht polarisierten Licht den Polarisator-Nicol herauszuziehen.

Die Abb. 27 und 28 zeigen mit der beschriebenen Kamera hergestellte Aufnahmen eines Feldspatbasalt-Dünnschliffs in gewöhnlichem und in polarisiertem Lichte. Die Feinheiten, die die Negative und die auf Auskopier-Papier hergestellten Kopien zeigen, sind bei der Reproduktion allerdings zum Teil verloren gegangen.

6. Vertikal-Illuminatoren. Nicht alle mineralogischen Objekte lassen sich in durchfallendem Lichte untersuchen, weil es bei manchen, so z. B. bei Erzen und Metallen, nicht möglich ist, Dünnschliffe anzufertigen. Man ist deshalb bei der Untersuchung von Erzen, Metallen, Ätz-Figuren auf Kristallen usw. genötigt, auffallendes Licht anzuwenden. Die Beleuchtung erfolgt in diesem Falle mit einer unter der Bezeichnung „Vertikal-Illuminator" bekannten Vorrichtung. Die gebräuchlichste Form des Vertikal-Illuminators zeigt Abb. 29. Der Illuminator wird an Stelle des Objektivs entweder direkt an den Tubus angeschraubt oder in der im 4. Kapitel, (S. 15) erläuterten Art mittels des Zangen-

wechslers und des Anschluß-Stückes Z am unteren Tubus-Ende befestigt. In der Hülse H sitzt ein total-reflektierendes Prisma P, das die eine Hälfte der Öffnung des bei a aufgeschraubten Objektivs bedeckt, während die andere für die abbildenden Strahlen frei bleibt. Die von einer



Abb. 27. Feldspat-Basalt.
Aufnahme in gewöhnlichem Lichte mit Objektiv von 17 mm Äquivalent-Brennweite und Okular Nr. 3 (vgl. Tabelle S. 32); Vergrößerung 43 mal; zerstreutes Tageslicht; Belichtungszeit 30 Sekunden.



Abb. 28. Feldspat-Basalt.
Aufnahme in polarisiertem Licht mit Objektiv von 17 mm Äquivalent-Brennweite und Okular Nr. 3 (vgl. Tabelle S. 32); Vergrößerung 43 mal, zerstreutes Tageslicht; Belichtungsdauer 90 Sekunden.

vor dem Mikroskop aufgestellten Lichtquelle kommenden Lichtstrahlen gelangen durch die Öffnung o in die Hülse H auf das Prisma P und werden

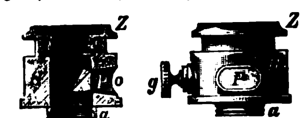


Abb. 29. Vertikal-Illuminator mit total reflektierendem Prisma.

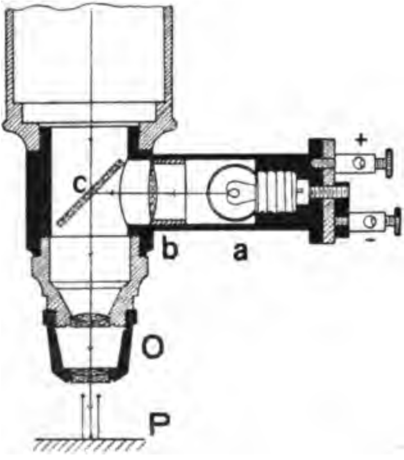


Abb. 30. Vertikal-Illuminator mit einem unter 45° geneigten planparallelem Glas und elektrischem Lämpchen.

von diesem auf das Objektiv reflektiert, das die diffus eingetretenen Strahlen in seinem Brennpunkt vereinigt. Damit (nachdem die Lichtquelle zum Mikroskop oder das letztere zur Lichtquelle annähernd richtig gestellt ist) die Strahlen in der wirksamsten Richtung eingeführt werden können, ist das Prisma mit Hilfe des Griffknopfes g um eine wagrechte und die ganze Vorrichtung vermittels des Anschlußstückes Z der Objektiv-Zange um die optische Achse drehbar.

Beim Gebrauch eines Vertikal-Illuminators empfiehlt sich die Verwendung von Objektiven, die möglichst kurz gefaßt sind, bei denen also die obere Linse tunlichst nahe beim Anschraube-Gewinde liegt. Bei der Verwendung sehr schwacher Objektive ist man häufig genötigt, eine matte Glasscheibe zwischen Lichtquelle und Illuminator einzuschalten, damit das Präparat nicht zu stark beleuchtet wird.

Eine andere Ausführungsform eines Vertikal-Illuminators zeigt Abb. 30. Hier ist das

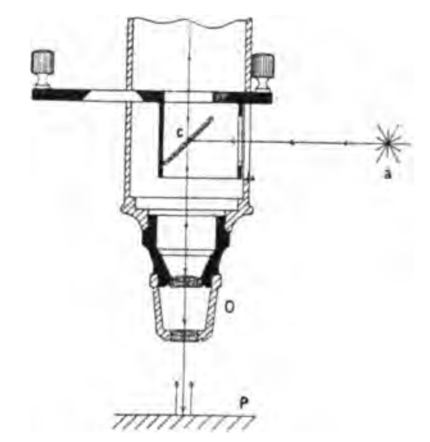


Abb. 31. Vertikal-Illuminator mit einem in einem ausschaltbaren Schieber eingesetzten, unter 45° geneigten planparallelen Glas.

total-reflektierende Prisma durch eine unter 45° zur optischen Achse geneigte, tunlichst dünne, planparallele Glasplatte c ersetzt. Im allgemeinen ist dieser Anordnung der Vorzug zu geben,

besonders bei Verwendung stärkerer Objektive. Als Lichtquelle kann ebenso wie bei dem in Abb. 29 dargestellten Vertikal-Illuminator jede beliebige vor dem Mikroskop aufgestellte oder aufgehängte, stark leuchtende Lampe dienen. Man kann den Vertikal-Illuminator aber auch direkt mit einem elektrischen Glühlämpchen vereinigen, wie es die Abb. 30 zeigt. In diesem Falle ist es nicht nötig, beim Heben und Senken des Tubus die Lichtquelle jedesmal neu auf die verhältnismäßig kleine Lichteintritts-Öffnung einzustellen. Das von dem kleinen Metallfaden-Lämpchen a (2 oder 4 Volt; Stromquelle: Akkumulator) ausgestrahlte Licht fällt nach seinem Durchtritt durch die Linse b angenähert parallel auf die unter 45° geneigte planparallele Glasplatte c und wird von dieser nach unten in das Objektiv 0 reflektiert, das die Lichtstrahlen auf dem undurchsichtigen Objekt P vereinigt.

Schließlich sei noch eine etwas abgeänderte Ausführungsform des vorgenannten Vertikal-Illuminators erwähnt, die sich besonders gut für mineralogische Mikroskope eignet; sie ist meines Wissens bisher nur von R. Fueß in Steglitz ausgeführt worden. Bei dieser Form ist das unter 45° zur optischen Achse geneigte planparallele Glas c wie Abb. 31 zeigt, in einen ganz ähnlichen Schieber eingesetzt, wie er zur Aufnahme des im Tubus der mineralogischen Mikroskope aus- und einschaltbar angeordneten Analysators (s. S. 15) dient. Will man in auffallendem Licht beobachten, so hat man lediglich den den Analysator-Nicol tragenden Schlittenschieber herauszuziehen und ihn durch den Schlitten zu ersetzen, der das unter 45° geneigte, als Reflektor oder Illuminator dienende Glasplättchen trägt. Neben ihrer Einfachheit und Billigkeit hat diese Anordnung noch den Vorteil, daß der Tubus keinerlei Verlängerung erfährt und daß die Objektive in gewohnter Weise mittels Zangenwechsler angebracht und ausgewechselt werden können.

Zweiter Teil: Die Herstellung von Gesteins-Präparaten und Dünnschliffen.

Zehntes Kapitel.

Das Zerschneiden der Gesteine.

1. **Die Schneidemaschine.** Wenn auch zur Herstellung einzelner Gesteins-Präparate eine besondere Einrichtung zum Zerschneiden der Gesteine nicht unbedingt erforderlich ist, so wird die Anfertigung der Präparate durch eine solche Vorrichtung doch wesentlich erleichtert. Entbehrlich ist die Schneidevorrichtung beispielsweise, wenn man die Schliffe aus abgeschlagenen Gesteinssplittern anfertigt, ein Verfahren, das allerdings meist nur bei weniger wertvollem Material anwendbar ist. Eine kleinere Maschine zur Herstellung dünner Schnitte aus Steinen und Mineralien, die in den weitaus meisten Fällen völlig genügt, ist in Abb. 32 dargestellt. Der Antrieb dieser Maschine erfolgt mit Hilfe eines Schwungrads von Hand; die Maschine wird aber auch in ganz ähnlicher Ausführung zum Antrieb durch einen kleinen Elektro-Motor von $^1/_6$ PS angefertigt. In letzterem Falle ist die wagrechte Achse der Schneidescheibe s in einem gabelförmigen Bock gelagert und am linken Ende der Achse eine Schnurlaufscheibe w angebracht.

Diese kleine Maschine gestattet auch eine qualitative Orientierung von Schnitten aus Mineralien. Die Befestigungsvorrichtung b für das zu zerschneidende Material, das mit einer Mischung von Wachs und Kolophonium (Wachskitt) oder Siegellack auf die verstellbare Scheibe c gekittet wird, kann durch die Schraube d parallel zur Schneide-Achse verschoben werden, sodaß man im Bedarfsfall auch mehrere Parallel-Schnitte hintereinander machen kann, wie das z. B. häufiger bei der Herstellung von Mineralschnitten erforderlich ist. Außerdem kann die Befestigungseinrichtung b um ein in $^1/_1$ Grade geteiltes Bogenstück e gedreht werden. Weiterhin ist die gesamte Halte-Vorrichtung b um eine horizontale Achse f, die genau parallel zur Achse der Schneidescheibe s gelagert ist, drehbar und wird durch ein verstellbares, am Stab g befindliches Gegengewicht gegen die Schneidescheibe gedrückt. Die Schneidescheibe hat einen Durchmesser von etwa 7 cm bei 0,3 mm Dicke. Wenn die Schneidescheibe gut in Ordnung ist, leistet die Maschine nach einiger Übung im Schneiden mit Diamant ungefähr 3 qcm Schnittfläche in Quarz oder Granit in etwa 5 Minuten. Man kann also in 10 Minuten Scheiben in der üblichen Präparatgröße von 2 mm Dicke und weniger abschneiden. Mit Schmirgel dauert das Schneiden beträchtlich länger; auch verursacht die Verwendung von Schmirgel weit mehr Schmutz als das Arbeiten mit Diamant. Bei richtiger Besetzung der Schneidescheibe mit Diamant übersteigt die Schnittbreite kaum 0,4 bis 0,5 mm.

2. **Präparieren der Schneidescheiben mit Diamant.** Der Erfolg beim Schneiden hängt fast allein von einer sachgemäß hergerichteten Schneidescheibe ab, denn auch dem Geübtesten gelingt mit einer mangelhaft hergerichteten Schneidescheibe kein guter Schnitt. Die Hauptsache ist, daß die Schneidescheibe stets genau eben („plan") gerichtet oder gespannt und genau „laufend", d. h. zentrisch abgedreht ist. Das Richten und Ab-

drehen der Scheibe, die leicht von der Maschine abgenommen werden kann, geschieht am besten durch einen geschickten Mechaniker. Dann versieht man den Rand der Scheibe mit Hilfe eines Messers mit kleinen flachen Einkerbungen, die unter sich einen Abstand von etwa 1 cm haben und ähnlich wie die Zähne einer Kreissäge dem Umdrehungssinn der Scheibe entgegenliegen. Darauf bringt man den zuvor in einem Mörser zu kleinen Splitterchen gestoßenen Diamant (Diamantstaub schneidet nicht so gut), den man in einer kleinen Schale mit etwas Öl vermischt hat, gegen den Rand der Scheibe. Um die Diamantsplitterchen fest in den Rand der Scheibe einzudrücken, und daraus eine Art Kreissäge mit mikroskopisch kleinen Zähnen zu machen, nimmt man ein beliebig großes Stück Quarz oder Feuerstein zu Hilfe, in das mittels einer mit Schmirgel oder Diamant präparierten Scheibe ein etwa 5 bis 10 mm tiefer Einschnitt gemacht ist, den man mit dem Diamant-Öl-Gemisch füllt. Dieses harte Gesteinsstück kann entweder an der Spannvorrichtung der Maschine befestigt oder auch in der rechten Hand gehalten werden. Man drückt den Einschnitt fest über den Rand der Schneidescheibe und dreht diese durch Anfassen der Schwungradkurbel mit der linken Hand, bis der ganze Scheibenrand den Einschnitt durchlaufen hat. Den ersten Probeschnitt von etwa 3—4 qcm Größe macht man zweckmäßig in ein hartes homogenes Gestein, z. B. in Quarz. Während des Schneidens muß der Rand der Scheibe fortgesetzt mit Petroleum befeuchtet werden. Man läßt die Scheibe deshalb am besten etwa 1 cm tief in Petroleum eintauchen, das man in das unter der Scheibe befindliche Ablaufgefäß gießt. Will man die Scheibe nicht direkt in Petroleum laufen lassen, so kann man auch (wie Abb. 32 zeigt) ein kleines Tropfgefäß zum Anfeuchten benützen; ein solches Tropfgefäß läßt sich nötigenfalls leicht selbst herstellen, indem man an der Ausfluß-Öffnung eines

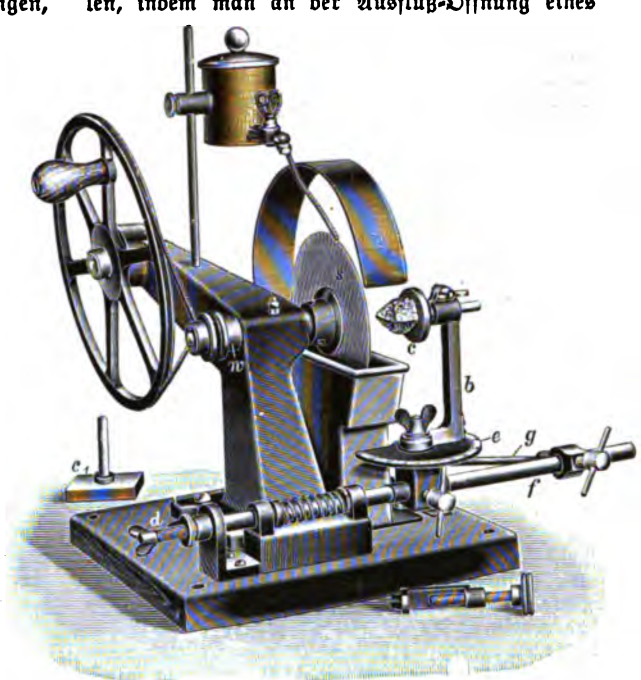


Abb. 32. Kleine Schneidemaschine für Handbetrieb.

Ölkännchens einen Pinsel so anbringt, daß die beim Drücken austretenden Öltropfen von ihm aufgenommen und an den Rand der umlaufenden Scheibe weiter gegeben werden.

Elftes Kapitel.

Das Schleifen der Gesteine.

1. **Die einfachsten Hilfsmittel zum freihändigen Schleifen** von Gesteins- und Kristall-Präparaten sind glattgehobelte Gußeisenplatten und Platten aus dickem matt geschliffenen Spiegelglas, die zum Schutz gegen Zerbrechen in einen Holzrahmen eingelegt werden. Während die Eisenplatten sich hauptsächlich zum Vorschleifen eignen, verwendet man die Glasplatten besonders zum Feinschleifen. Beide Platten sollten etwa 30 qcm groß sein. Zum Vorschleifen abgeschlagener Gesteinssplitter kann man sich übrigens auch eines horizontal liegenden Schleifsteines oder einer massiven, dicken Schmirgelplatte bedienen.

2. **Die Schleifmaschine.** Bequemer als einfache, festliegende Schleifplatten sind rotierende Schleifscheiben oder Schleifmaschinen, deren einfachste Form (mit Handantrieb) wir in Abb. 33 sehen. Natürlich gibt es auch größere Maschinen mit Fuß- und Motorantrieb, die aber mehr für Institute usw. bestimmt sind, da die kleine Handmaschine den Ansprüchen des Einzelforschers völlig genügt. Zur gleichzeitigen Herstellung mehrerer Gesteinsdünnschliffe oder Kristall-Präparate werden dieser kleinen Maschine zwei Eisenplatten E, eine auf eine Eisenplatte gekittete Spiegelglasscheibe G sowie zwei Glasplatten P und P_1 beigegeben. Die als Schleifplatten dienenden Scheiben E und G lassen sich mit ihren konischen Zapfen in die vertikale rotierende Spindel einstecken, während die zum Aufkitten der Schliffe bestimmten Platten P und P_1 beim Schleifen in der Hand gehalten werden.

Durch die Beigabe von 3 Schleifscheiben ist die Möglichkeit gegeben, die Scheiben durch gegenseitiges Abschleifen genau plan zu erhalten. Mit zwei Scheiben wäre das zwar auch, aber weniger leicht ausführbar.

Man hat übrigens auch kleinere Maschinen konstruiert, die eine Vereinigung von

Schneide- und Schleifmaschine darstellen; bei diesen Typen erfolgt der Antrieb zweckmäßigerweise durch einen kleinen Motor. Beide Vorrichtungen sind auf einem gemeinsamen Grundbrett montiert, links die Schneide-, rechts die Schleifeinrichtung. Die Konstruktion beider Vorrichtungen ist den in Abb. 32 und 33 dargestellten Maschinen angepaßt, nur fällt bei der Schleifeinrichtung das besondere Schwungrad



Abb. 33. Schleifmaschine für Handbetrieb.

fort. Zum Antrieb reicht ein Motor von $^1/_{16}$ PS aus, der 30 cm hinter der Schneide- bezw. Schleifvorrichtung aufgestellt wird. Beim Antrieb der Schleifscheibe ist darauf zu achten, daß die Motor-Achse einigermaßen in gleicher Höhe mit der Antriebscheibe der Schleifvorrichtung liegt, damit die gekreuzt laufende Schnur nicht von einer der beiden Antriebsscheiben abgleitet.

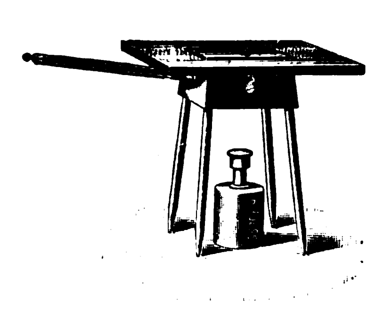
3. Der Mikrometertaster. Bei der Herstellung von Dünnschliffen und Mineral-Platten sind häu-



Abb. 34. Mikrometertaster mit Stativ.

fig Dickenmessungen vorzunehmen. Dazu benützt man einen Mikrometertaster nach Abb. 34, der für die meisten Zwecke ausreicht. Die Schraube S besitzt eine Steigung von 0,5 mm; an ihrer Teiltrommel T können Hundertstel-Millimeter direkt abgelesen werden. Zur bequemen Handhabung kann der Mikrometertaster in ein mit einem Spannbackenpaar versehenes kleines Stativ St eingeklemmt werden.

4. Der Erwärmungs- oder Präparierofen (Abb. 35) dient zum Aufkitten der Gesteinspräparate auf Objektträger und dgl. Er besteht aus einem von vier Füßen getragenen Eisenkasten, dessen Oberfläche von einem Holzrahmen umgeben ist, der als Stütze für die Hand beim


Abb. 35. Präparierofen zum Kitten.

Auflegen und Abnehmen der Präparate (mittels Pinzette) dient. In eine Seitenwand des Erwärmungskastens läßt sich ein vor den Flammengasen geschütztes Thermometer einführen, mit dem man die Schmelztemperatur des benützten Kittes (Kanadabalsam, verdicktes Leinöl usw.) ermitteln kann. Zum Erwärmen des Ofens dient ein darunter gestellter Spiritus- oder Bunsenbrenner.

5. Die Kittkanne (Abb. 36) ist eine Vorrichtung, mit der man den flüssigen Kitt um die zur Bearbeitung auf Objektträger geklebten Schliffe gießt. Die Kanne besteht aus einem trichterförmigen, mit einem Holzgriff versehenen Messinggefäß, an dessen weiterem Ende eine Öffnung zum Einfüllen der harten Kittmasse angebracht ist. Die Ausflußöffnung läuft in eine Spitze aus. Zur Verflüssigung des Kittes wird die Kanne über eine Gas- oder Spiritusflamme gehalten.

6. Kitte. Bei der Bearbeitung von Gesteinsschliffen und Mineralplatten sind verschiedene Kittsorten erforderlich, je nach der Art des zu bearbeitenden Materials. Zum Befestigen von harten Gesteinen oder Mineralien während des Schneidens und Anschleifens der ersten Fläche genügt gewöhnlicher Siegellack. — Ein anderer, zum gleichen Zweck allgemein verwendeter Kitt ist der sogenannte Wachskitt, den man mit der in der Abb. 36 dargestellten Kittkanne bequem um die Arbeitsstücke gießen kann. Der Wachskitt besteht aus einer Mischung von 2 Teilen Kolophonium und 1 Teil Wachs. Da das Kolophonium schwerflüssig ist, muß es zuerst geschmolzen werden; dann wirft man das Wachs in die flüssige Masse, in der es sich ohne Nachwärmen auflöst; die Mischung wird gut umgerührt. Die Verwendung des reinen gelben Bienenwachses ist da besonders zu empfehlen; gebleichtes Wachs ist nicht so gut. Zum Auflösen

der am Objekt hängengebliebenen Kittreste benutzt man Terpentinöl.

Zum Aufkitten der Präparate (auf die Objektträger und zur Befestigung der Deckgläser) verwendet man Kanadabalsam, und zwar ist es zweckmäßig, zwei Kanadabalsam-Sorten von verschiedener Zähigkeit zu benutzen. Zum Aufkleben des Schliffes auf den Objektträger ist ein dickflüssiger Balsam von 80—90° Schmelztemperatur am besten geeignet; zur Verbindung des Deckglases mit dem Schliff dient eine weniger zähe Sorte mit einer Schmelztemperatur von etwa 50°. Hält man sich an diese Angaben, so ist man ziemlich sicher davor, daß sich der Schliff beim Auflegen des Deckglases verschiebt.

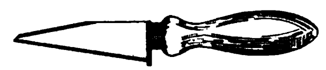


Abb. 36. Kittkanne zum Auftragen flüssigen Wachskitts bei der Herstellung von Gesteinspräparaten.

Einen zähflüssigen oder harten Kanadabalsam erhält man durch Kochen des Balsams in einem Porzellantiegel, oder besser in einem von einem Wasserbad umgebenen Gefäß. Zur Aufbewahrung des Kanadabalsams benützt man eine kleine, mit eingeschliffenem Stöpsel und Glasklappe versehene Flasche, die man zur Vermeidung des schnellen Eintrocknens möglichst immer gefüllt hält.

7. Das Schlämmen des Schmirgels. Die im Handel befindlichen feineren Schmirgelsorten enthalten zuweilen gröbere Körnchen, die einen nahezu fertigen Schliff bei den letzten Feinschleifarbeiten leicht beschädigen oder völlig zerstören können. Man tut deshalb gut daran, den Schmirgel vor Gebrauch zu schlämmen. Dazu bringt man ihn in ein hohes Becher- oder Standglas, und zwar nimmt man eine solche Menge, daß etwa $1/_8$ des Glases gefüllt ist. Dann füllt man das Glas bis nahezu zum Rande mit Wasser und rührt den Schmirgel tüchtig auf. Durch längeres Rühren werden auch die letzten am Boden lagernden Körner nach oben befördert. Häufig bildet sich nach dem Rühren oben auf der Wasserfläche ein Schaum, den man durch Zugießen von Wasser und Abstreichen mit einem Löffel oder dgl. entfernt. Ist dies geschehen, und der Schmirgel im Gefäß gleichmäßig verteilt, so gießt man ihn in ein zweites, ähnliches Standglas, wobei aber darauf zu achten ist, daß der von den inzwischen zu Boden gesunkenen gröberen Körnern gebildete Bodensatz nicht mit in das zweite Glas hinüber kommt. Gut geschlämmte Schmirgelsorten lassen nur verhältnismäßig wenige Körner zurück.

Ist man genötigt, hintereinander mehrere Schmirgelsorten zu schlämmen, so empfiehlt es sich, mit der feinsten Sorte zu beginnen; bei umgekehrter Reihenfolge könnte es leicht vorkommen, daß bei nicht genügend gründlicher Reinigung der Schlämmgefäße einzelne Körner des gröberen Schmirgels zurückbleiben und die feinere Sorte verderben. Zur Aufbewahrung des Schmirgels benützt man am besten weithalsige Glasgefäße mit übergreifenden Stöpseln.

8. Die Herstellung von Dünnschliffen. Dünnschliffe aus hartem Material. Bei genügend hartem Gesteinsmaterial schneidet oder schleift man das zu einem Dünnschliff zu bearbeitende Gesteinsstück am besten so weit ab, daß man eine Platte von ungefähr 1 mm Dicke erhält, mit annähernd parallelen Flächen. Die eine Seite dieser kleinen Platte wird mit feinstem Schmirgel möglichst eben geschliffen und dann nach vorhergegangener gründlicher Reinigung mit Wasser und Alkohol unter Zuhilfenahme des Präparierofens (Abb. 35), mit zähflüssigem Kanadabalsam auf einen Objektträger gekittet. Zum Auftragen des Kanadabalsams benützt man am besten einen vorn abgerundeten Glasstab von etwa 5 mm Dicke. Der Kanadabalsam muß sowohl auf das zuvor erwärmte Gesteinsstückchen, als auch auf den erwärmten Objektträger aufgetragen werden. Beim Aufkitten des Gesteinsstücks auf den Objektträger ist besonders darauf zu achten, daß sich zwischen Glas und Gesteinsstückchen keine Luftblasen bilden. Zeigen sich nach dem Erkalten doch Luftbläschen unter der Schlifffläche, die auch bei längerem Nachwärmen nicht verschwinden, so bewegt man den Objektträger mit dem darauf befindlichen fertigen oder unfertigen Schliff mit der Kittseite nach unten schnell einige Male durch die Spiritusflamme. Die verwendete Kittmenge muß immer so groß sein, daß auf allen Seiten des aufgekitteten Gesteinsstückchens ein Überfluß an Kanadabalsam vorhanden ist. Ist der Kitt erkaltet und von etwa vorhandenen Luftbläschen befreit, so schleift man das Präparat so weit ab, daß es unter dem Mikroskop in durchfallendem Licht untersucht werden kann. Während des Schleifens bedient man sich zur Kontrolle der Dickenabnahme und des Parallelismus bei den Flächen des in Abb. 34 dargestellten Mikrometertasters. Ein Polieren der Schliff-Oberfläche ist vor dem Auflegen des Deckglases keinesfalls nötig. Es genügt vollauf, wenn der Schliff zuletzt mit feingeschlemmtem Schmirgel behandelt wird, denn nach dem Aufkitten des Deckglases wird die Durchsichtigkeit des Schliffes beträchtlich erhöht. Daß beim Auflegen des Deckglases nach vorhergegangener Reinigung mit Wasser oder Spiritus zwischen Deckglas und Schliff keine Luftbläschen auftreten, die bei der Beobachtung recht störend wirken können, erfordert einige Übung. Am besten gelingt das Auflegen des Deckglases im allgemeinen, wenn man an einem Ende des Schliffes einen Streifen dünnflüssigen Kanadabalsam von etwa der Länge des Deckglases aufträgt (ebenfalls mit einem Glasstab), darauf das mit der Pinzette gehaltene Deckglas mit der einen Kante an den Anfang des Balsamstreifens anlegt und es nunmehr langsam so auf den Schliff niedersinken läßt, daß sich der Balsam wallartig unter dem Deckglase fortbewegt. Den um die Ränder des Deckglases angesammelten überflüssigen Kanada-Balsam entfernt man am besten mit einer heißen Messerspitze; den verbleibenden Rückstand wäscht man mit einem in Alkohol getauchten Lederläppchen vorsichtig ab.

Manchmal ist es nötig, den noch nicht befestigten Schliff auf einem andern Objektglas zu übertragen; man erwärmt dann das alte Ob-

jektglas auf dem Präparierofen (Abb. 35) bis zum Flüssigwerden der Balsamschicht, hält es über das gleichfalls auf dem Präparierofen liegende neue, mit Balsam bestrichene Glas und schiebt das Präparat mit einem feinen Messerchen vom alten auf den neuen Objektträger hinüber. Handelt es sich um weiches oder leicht bröckelndes Material (s. weiter unten), so verzichte man lieber von vornherein auf das Übertragen des Schliffes, da es in den meisten Fällen doch mißlingt.

Wie man gleichzeitig mehrere Dünnschliffe herstellt, geht aus Abb. 33 (P und P_1) hervor. Um das gleichzeitige Schleifen der zweiten Schlifffläche (Schliffe bereits auf Objektträgern) zu ermöglichen, müssen gleich dicke Objektträger mit einem Mikrometer-Taster ausgewählt werden. Diese Objektträger werden dann mit Hilfe der Kittkanne (Abb. 36) auf der Glasplatte P aufgekittet. Ein letztes feines Nachschleifen des einzelnen Schliffes ist aber auch bei dieser Methode erforderlich, weil die käuflichen Objektträger nie so eben und parallelflächig sind, wie es zur Herstellung eines guten Schliffes erforderlich ist.

Dünnschliffe aus porösen Gesteinen. Die Herstellung von Schliffen aus sehr porösen Gesteinen (Schlacken, Bimsstein, Lava u. dgl.) erfordert eine etwas andere Behandlung wie sie für massive oder homogene Gesteine gebräuchlich ist. Um einen festeren Zusammenhang der einzelnen Hohlräume untereinander herzustellen, werden sie vor der Herstellung des Schliffes durch Kochen des Schnittes im Kanadabalsam ausgefüllt. Damit das Gestein von dem Kanadabalsam völlig durchtränkt wird, empfiehlt es sich, die Schnitte oder Splitter von vornherein möglichst dünn zu machen. Zum Einkochen verwendet man einen genügend großen und tiefen Löffel oder noch besser ein genügend weites, durch einen Korken verschließbares Reagenzglas, in das man das poröse Gesteinsstück und so viel zähflüssigen Kanadabalsam bringt, daß der Schliff völlig davon bedeckt ist. Die Erwärmung erfolgt am besten in einem Wasserbad; sie kann je nach der Art des Gesteins bis zu 24 Stunden dauern. Bei genügend hoher Temperatur tritt eine derartige Druckerhöhung im Glase ein, daß der Kanadabalsam in die feinsten Poren des Gesteinsstückes eindringt. Nach beendetem Kochen wird der überflüssige Balsam abgegossen; darauf läßt man den Splitter erkalten und behandelt ihn dann in der bereits geschilderten Weise weiter.

Dünnschliffe aus Mineralpulvern. Will man Dünnschliff-Präparate von Mineralpulvern (Sanden usw.) herstellen, so empfiehlt es sich, sich eines von F. Stöber angegebenen Verfahrens zu bedienen, nach dem die kleinen Körner in Kanadabalsam eingebettet werden. Man läßt einen Tropfen Kanadabalsam auf einem dünnen Deckglas, das auf einem Objektträger liegt, zerfließen und streut die zu schleifenden Körner darauf. Dann bedeckt man den noch nicht erhärteten Kanadabalsam mit einem Stückchen Pauspapier, das mit einem glatt geschnittenen Stück Radiergummi angedrückt wird, bis der Balsam erhärtet ist. Hierauf entfernt man das Papier, schleift die Körner mit feinem Schmirgel an, kittet die angeschliffene Fläche mit leichtflüssigem Kanadabalsam auf einen neuen Objektträger, sprengt nach dem Erkalten das Deckglas ab, schleift die zweite Seite in der üblichen Weise und legt schließlich wieder ein Deckglas auf, womit das Präparat fertig ist.

Dünnschliffe aus Salz und salzhaltigen Stoffen. Nach den von E. Korreng im Mineralogischen Institut zu Berlin gesammelten und im „Zentralblatt für Mineralogie" (Jahrg. 1913, S. 408—412) veröffentlichten Erfahrungen verfährt man bei der Anfertigung derartiger Schliffe folgendermaßen: Als Schleifmittel verwendet man an Stelle des sonst gebräuchlichen Schmirgelbreies (s. S. 37) Schmirgel-Papier (hauptsächlich die Sorten No. 1, 0 und 00), das auf eine ebene Unterlage, z. B. eine plane Eisen- oder Glasplatte (s. S. 35) gelegt oder geklebt wird. Bei stark hygroskopischen (wasserziehenden) Salzen muß man den Schleif-Prozeß möglichst schnell vollziehen und des öfteren auf unbenützte Stellen des Schmirgelpapiers übergehen, um nicht in abgeschliffenem Pulver zu reiben, das inzwischen Wasser aus der Luft aufgenommen hat. Ein schnelles Schleifen hat im vorliegenden Falle auch den Vorteil, daß sich die geriebene Fläche auf dem schlecht leitenden Schmirgelpapier so sehr erwärmt, daß in den meisten Fällen eine Hydratisierung des Schliffes nicht erfolgt. Taucht man sodann die Schlifffläche schnell in einen auf eine Glasplatte gebrachten, hinreichend großen Tropfen Rizinus-Öl, und poliert sie darin, indem man schnell rotierende Bewegungen ausführt, so ist auch die schädigende Wirkung des Wasserdampfes der Luft ausgeschaltet. Bei Stoffen, die nicht hygroskopisch sind, wendet man zum Polieren möglichst wenig oder gar kein Öl an. Das Reinigen der mit Öl benetzten Glasplatte erfolgt am besten mit absolutem Alkohol.

Sobald die Schlifffläche in allen Teilen, namentlich an den Rändern, genügend Glanz oder Politur zeigt, wird das Präparat mit der Schlifffläche auf einen Objektträger gekittet. Darf das Objekt der Einwirkung der feuchten Luft nicht ausgesetzt werden, so ist ein präparierter Objektträger vor Beendigung des Polierprozesses so weit zu erwärmen, daß der Kanadabalsam fließt, und auf eine wagrechte, die Wärme schlecht leitende Unterlage zu legen. Man bringt dann das Objekt in den noch flüssigen Kanadabalsam und drückt den Schliff an das Glas an; dabei achtet man darauf, daß zwischen Glas und Präparat keine Luftblasen stehen bleiben (s. S. 37). Ist der Schliff in Öl poliert, so muß das anhaftende Öl vor dem Aufkitten mit einem nichtfasernden Tuche abgewischt werden. Sobald der Kanadabalsam erkaltet ist, kann man mit dem Dünnschleifen beginnen, wobei man die Schleif-Geschwindigkeit tunlichst verringert, damit nicht Stücke aus dem Objekt herausgerissen und tiefgehende Schrammen erzeugt werden. Gut ist es, den überflüssigen Kanadabalsam auf dem Objektträger vor dem Dünnschleifen nicht vollständig zu entfernen; das Salzplättchen liegt dann in einem Ring von Kanadabalsam, der seine Ränder schützt und mit

abgeschliffen werden muß, wenn das Präparat dünner werden soll. Sobald der Schliff genügend dünn geschliffen ist, folgt das Nachschleifen und Polieren auf der Glasplatte. Für Dünnschliffe aus hygroskopischen Salzen ist auch hier die erste Bedingung die, daß sie nicht der direkten Einwirkung der feuchten Luft ausgesetzt werden.

Kanadabalsam-Teilchen, die sich beim Schleifen zuweilen auf der matten Glasscheibe festsetzen, werden zweckmäßig immer sofort mit Alkohol oder Xylol entfernt. Die Entfernung des den Schliff umgebenden Kanadabalsams, der meist durch Schleifpulver und dergl. verunreinigt ist, geschieht am besten mit einem erwärmten Messer oder dergl., während die dem Dünnschliff selbst anhaftenden Teilchen durch Reiben auf der Glasplatte in öfters erneuertem Öl entfernt werden.

Das Auflegen des Deckglases erfolgt in der bereits früher (S. 37) erläuterten Weise unter Anwendung von nicht zu hartem Kanadabalsam. Sollen sich Schliffe stark hygroskopischer Salze lange Zeit unverändert halten, so empfiehlt es sich, die Ränder des Präparats einige Tage nach dem Auflegen des Deckglases mit einem Asphaltlackstreifen zu umziehen.

Dritter Teil: Andere Apparate zur genaueren Bestimmung optischer Konstanten kristallisierter Körper.

Zwölftes Kapitel.

Achsenwinkelapparate.

Zur Messung des Winkels, den die optischen Achsen eines zweiachsigen Minerals miteinander bilden, bedient man sich der Achsenwinkel-Apparate. Eine den meisten Zwecken genügende Form eines solchen Apparats zeigt Abb. 37.

Das Kreissystem und der optische Teil des Apparats werden von einem aus einem einzigen Gußkörper hergestellten Stativ mit Dreifuß getragen. In dem oberen Kernstück des Trägers für das Kreissystem ist die Achse des in halbe Grade geteilten Kreises K gelagert. Zur bequemen Ablesung ist die Teilung auf die Zylinder-Fläche des Kreises aufgetragen. Ein Nonius, auf den die Lupe L eingestellt ist, gibt direkt Minuten an. Die Drehung des Teilkreises erfolgt an seinem geränderten Rand. Zur Fixierung des Kreises dient die Schraube g, zur Fein-Einstellung die Mikrometerschraube f. In der zylindrischen Bohrung der Kreisachse läßt sich eine Stange h senkrecht verschieben, die durch die Schraube h_1 festgeklemmt wird. Am unteren Ende der Stange h sitzt die Zentrier- und Justiervorrichtung für den Kristall, die aus den Teilen C und J besteht. C ist im wesentlichen eine aus freier Hand in der Wagrechten verschiebbare Platte; J ist eine Kugelschale, deren Mittelpunkt annähernd im Kristall liegt. Die Verschiebung dieser Kugelschale erfolgt gleichfalls aus freier Hand. Am untern Ende der Kugelschale befindet sich eine Pinzette Pi zum direkten Einklemmen der Kristallplatte Kr. Die Pinzette läßt sich auch gegen kleine, an der Stirnfläche aufgerauhte Zäpfchen austauschen, an denen man den Kristall mit Klebwachs befestigen kann.

Der optische Teil[11]) (Abb. 38) des Apparats besteht aus dem Polarisator-Rohr P und dem Beobachtungs-Rohr B. Die Linse a vereinigt die auf sie fallenden Strahlen im Polarisator-Nicol N_1, aus dem sie divergierend in die Linse a_1, die sie als annähernd paralleles Bündel verlassen, um durch die Linse c in der Kristallplatte Kr vereinigt

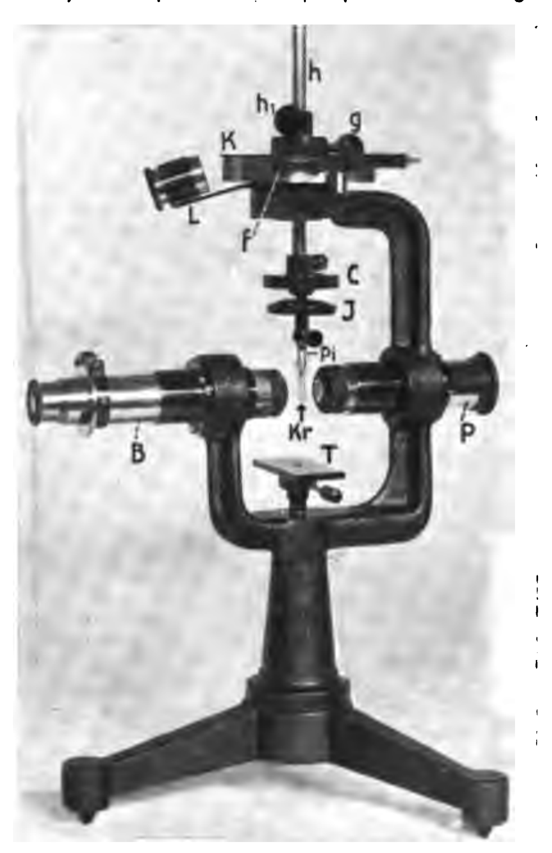


Abb. 37. Achsenwinkel-Apparat.

---

11) Der optische Teil dieses Achsenwinkel-Apparats ist so beschaffen, daß er gleichzeitig an einem sog. senkrechten Polarisations-Instrument zu Beobachtungen in parallelem und konvergentem polarisierten Licht verwendet werden kann.

zu werden. Die Linse o des Beobachtungs-Rohres vereinigt die Strahlen in ihrer hinteren Bildebene f; hier entsteht das Interferenz- oder Achsenbild des zu messenden Kristalls. Als Einstellungsmarke befindet sich in der Ebene f ein Glas mit einem aufgeritzten Kreuz. Zur gleichzeitigen Beobachtung des Achsenbildes und der Einstellungsmarke (Fadenkreuz) dient die Lupe l, die zur leichten Fokusierung in ein Auszugsrohr eingesetzt ist; im äußeren Ende dieses Rohres befindet sich der drehbare Analysator-Nicol N_2.

Die beiden Nicolschen Prismen sind bei einem Achsenwinkel-Apparat so justiert, daß ihre Polarisations-Ebenen unter 45° geneigt zur verlängert gedachten Drehungs-Achse des Teilkreises liegen. Die Messung eines Achsenwinkels erfolgt derart, daß man den einen Achsenbarren durch Drehen des Teilkreises mit der zuvor gut ausgerichteten Kristallplatte auf die Einstellmarke einrichtet, den Teilkreis abliest und ihn nun abermals dreht, bis sich der zweite Achsenbarren des Achsenbildes mit der Einstellmarke im Beobachtungs-Fernrohr deckt. Der Unterschied zwischen der ersten und der zweiten

auf elektrischem Wege durch Heizspiralen erfolgt, ist zuerst von F. Rinne vorgeschlagen worden. Während bei den gewöhnlichen Erhitzungs-Vorrichtungen die Temperatur-Bestimmung durch entsprechend geformte Thermometer erfolgt, geschieht sie bei elektrischer Erhitzung durch ein Thermo-Element (Pyrometer).

Einen dritten Erhitzungs-Apparat, bei dem die Messung der optischen Achsenwinkel bei höheren Temperaturen auch in Flüssigkeit, also nicht nur in Luft, erfolgen kann, hat neuerdings E. H. Kraus in Vorschlag gebracht. Bei diesem Apparat, mit dem man Temperaturen bis + 300° erzielen kann, geschieht die Erwärmung gleichfalls durch elektrische Heizspiralen. Für solche hohe Temperaturen können natürlich nur schwer siedende Flüssigkeiten in Frage kommen; in Luft aber können die Temperaturen noch weiter gesteigert werden.

Messung im einfarbigen Licht. Da die Messung der Achsenwinkel nur bei Beleuchtung mit einfarbigem Licht erfolgen kann, muß man sich entweder der auf S. 27 erläuterten Hilfsmittel zur Erzeugung homogenen Lichtes oder eines Monochro-

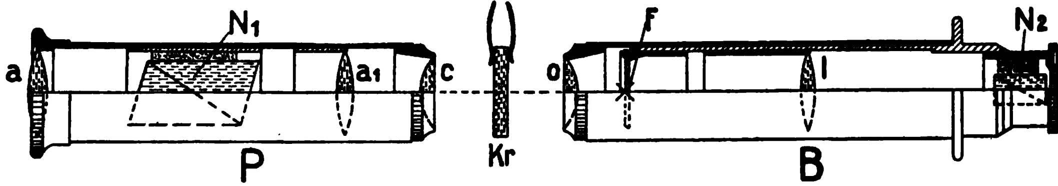


Abb. 38. Vertikalschnitt durch den optischen Teil des in Abb. 37 dargestellten Achsenwinkel-Apparats. Dieser optische Teil findet auch bei sog. senkrechten Polarisations-Instrumenten Verwendung.

Ablesung gibt dann den gesuchten scheinbaren Achsenwinkel (2E) für Luft an.

Überschreitet der Winkel der optischen Achsen eine gewisse Größe, so vermögen die den Achsen parallelen Strahlen nicht mehr in Luft auszutreten, sondern werden total reflektiert. In solchen Fällen umgibt man den Kristall mit einer Flüssigkeit, z. B. einem ungefärbten und gut durchsichtigen Öl, dessen Brechungs-Index bekannt ist. Diese Flüssigkeit wird in ein mit planparallelen Durchblickswänden versehenes Glasgefäß, das auf das hoch- und tiefstellbare Tischchen T gesetzt wird, gegossen. Die Messung des scheinbaren Achsenwinkels für das den Kristall umgebende dichtere Medium erfolgt auf genau die gleiche Weise, wie die Messung des scheinbaren Achsenwinkels in Luft.

Zur Bestimmung der Änderung der Achsenwinkel bei hohen und tieferen Temperaturen können die Achsenwinkel-Apparate mit Erhitzungs- oder Abkühlungs-Apparaten verbunden werden. Die einfachste Erhitzungs-Vorrichtung besteht aus einem ein Luftbad bildenden Metallkasten von etwa 2 cm Tiefe, 4—5 cm Breite und 15—20 cm Länge. Die Erwärmung dieses Kastens erfolgt entweder von außen durch die Flammen zweier an den Kasten-Enden aufgestellten Bunsen-Brenner oder durch eine im Kasteninnern untergebrachte Flamme. Im letzteren Falle muß der Kristall selbst in ein besonderes Luftbad gebracht werden, damit er vor den Flammengasen geschützt ist. In der Richtung der Sehlinie sind in dem Erwärmungskasten zwei Durchblicksfenster angebracht.

Eine Heizvorrichtung, bei der die Erwärmung

matoxs (S. 27, Abb. 21 u. 22) bedienen. Verwendet man z. B. die Lampe nach Laspeyres (Abb. 19), so kann man den Achsenwinkel für 3 verschiedene Lichtarten bestimmen; bei der Anwendung eines Monochromators aber hat man die Möglichkeit, den Achsenwinkel für beliebige Lichtarten, bzw. für beliebige Wellenlängen zu messen. Die hinter dem Austrittsspalt des Monochromators befindliche Projektionslinse muß bei der Beleuchtung von Achsenwinkel-Apparaten so eingestellt sein, daß sie ein annähernd paralleles Lichtbündel in das Polarisator-Rohr des Apparates sendet.

Außer dem vorbeschriebenen Achsenwinkel-Apparat existieren noch andere vollständigere Apparate. Sehr bekannt ist die von E. A. Wülfing vorgeschlagene Konstruktion, die sich von der sonst gebräuchlichen Form und auch von dem vorbeschriebenen Apparat dadurch unterscheidet, daß die Vergrößerung des Beobachtungs-Fernrohrs während der Beobachtung in bequemer Weise verändert werden kann. Dadurch ist man in den Stand gesetzt, die Vergrößerung bzw. Verkleinerung des Interferenz-Bildes der Art und Größe der zu untersuchenden Kristallplatte anzupassen. Außerdem kommen bei dem Wülfingschen Achsenwinkel-Apparat als Objekte keine gewöhnlichen Linsen, sondern dreifach verkittete Achromate (Steinheil-Lupen) zur Verwendung. — Auch die Hilfs-Linse zur Variation der Vergrößerung ist ein dreifacher Achromat. Bei den bessern und kostspieligeren Achsenwinkel-Apparaten erfolgt die Zentrierung und Justierung des Kristalls, statt durch freihändige Verschiebung durch entsprechende Schraub-Mechanismen.

Zur Justierung der zu untersuchenden Kristallplatte dient die sog. Gaußsche Spiegel-Einrichtung (Abb. 39), die an Stelle des herausziehbaren Analysator-Nicols N_2 (Abb. 38) in die Beobachtungsröhre eingesteckt wird. Sp ist ein mit Hilfe einer geeigneten Fassung an Stelle des Analysator-Nicols in das Beobachtungs-Fernrohr eingesetzter, unter 45° geneigter dünner Glasspiegel, der das Tageslicht oder die Strahlen einer seitlich aufgestellten Lichtquelle L in das Beobachtungs-Fernrohr sendet. Das Licht wird an der ebenen polierten Fläche der Kristallplatte k reflektiert und kehrt wieder ins Fernrohr zurück, sofern die Kristallplatte normal, also senkrecht zur Sehlinie des Fernrohres steht. Ist k hingegen mehr oder weniger zur Sehlinie des Beobachtungsrohres geneigt, so wird das gespiegelte Licht entweder garnicht oder nur zum Teil in das Fernrohr zurückkehren. Ist die Neigung der Kristallplatte k zur Achse des Beobachtungs-Fernrohrs nur gering, so erscheint das gespiegelte Fadenkreuz F_1 (Abb. 40) noch im Gesichtsfeld des Fernrohrs, und zwar je nach der Neigung der Kristallplatte entweder über oder unter dem wirklichen Kreuz F. Normal steht aber die Kristallplatte zur Sehlinie des Beobachtungs-Fernrohres erst dann, wenn sich das gespiegelte und das wahre Kreuz bei der Drehung der Glasplatte um die senkrechte Kreisachse decken. Ist dies nicht der Fall, so muß man mit Hilfe der Justier-Vorrichtung J (Abb. 37) die erforderliche Korrektion vornehmen.

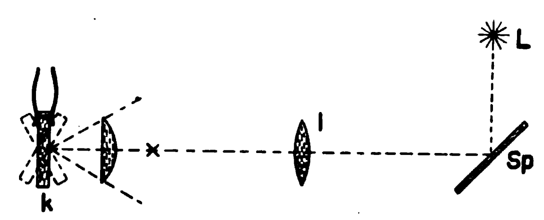


Abb. 39. Justierung der Kristallplatte beim Achsenwinkel-Apparat mit Hilfe des Gaußschen Spiegels.

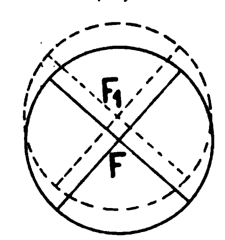


Abb. 40. Wirkliches und gespiegeltes Fadenkreuz während der Justierung der Kristallplatte am Achsenwinkel-Apparat n. d. Gaußschen Methode.

Dreizehntes Kapitel.

Kristall-Refraktometer.

Die Bestimmung der Brechungs-Indizes kristallisierter doppeltbrechender Körper bedingt eine andere instrumentelle Anordnung als bei einfachbrechenden Körpern. Die Messung der Brechungs-Indizes einfachbrechender Körper (z. B. von Gläsern) erfolgt am besten nach der sogenannten Prismen-Methode (Methode von Fraunhofer und Meyerstein) oder mit Hilfe des Kohlrauschschen Totalreflektometers. Apparate zur Messung der Brechungs-Indizes doppeltbrechender Kristalle wurden u. a. von Th. Liebisch, Bertrand, Pulfrich und Abbe vorgeschlagen. Die z. Zt. gebräuchlichsten Refraktometer dürften die nach Abbes Vorschlägen konstruierten Kristall-Refraktometer sein, bei denen eine Halbkugel aus stark brechendem Glase (Flintglas) verwendet wird. Der zu untersuchende Stoff wird mittels einer Flüssigkeit von stärkerer Brechbarkeit als die des zu untersuchenden Objekts auf die nach oben gekehrte ebene Grundfläche der Halbkugel aufgebracht.

Die Beleuchtung (s. Näheres hierüber S. 43) der Halbkugel kann sowohl von unten her durch das diffuse Licht einer einfarbigen Leuchtflamme (S. 27), als auch durch über die Grundfläche der Halbkugel streifende, in das Präparat einfallende Strahlen erfolgen.

Bei der ersten Beleuchtungsart (reflektiertes Licht) braucht das Objekt nur eine ebene polierte Auflagefläche zu besitzen, während das Präparat bei der Benutzung streifend einfallenden Lichtes mit durchsichtigen Seitenkanten, die nur sehr geringe Höhe (etwa 0,1 mm) zu besitzen brauchen, versehen sein muß. Präparaten doppeltbrechender Stoffe, die bei streifend einfallendem Licht untersucht werden sollen, gibt man am zweckmäßigsten die Form eines kleinen Zylinders, und poliert die Grundfläche und den Mantel. Streifender Einfall der Strahlen bewirkt eine viel kräftigere Hervorhebung der Grenzkurven als reflektiertes Licht, da es sich dabei um die Grenze zwischen einem hellen und weniger hellen Teile des Sehfeldes handelt, wogegen das Sehfeld im ersten Falle in einen hellen und einen ganz dunklen Teil getrennt ist.

Um die Grenzwinkel auf einem auf „Unendlich" eingestellten Fernrohr beobachten zu können, ist vor dem Objektiv eine plan-konkave Linse vom Radius der Halbkugel und vom gleichen Glas wie diese, angebracht, die die aus der sphärischen Fläche der Halbkugel konvergierend austretenden Strahlen einander parallel richtet. Die durch die plankonkave Linse erzielte Wirkung läßt sich nach Abbes Vorschlag auch durch geeignete Konstruktion des Fernrohr-Objektivs erzielen. Aus technischen Gründen wurde bei dem nachfolgend beschriebenen Instrument von der Verwendung eines solchen Objektivs abgesehen und der Konkavlinse der Vorzug gegeben. Sowohl im reflektierten als auch im durchfallenden Licht ist die Abbildung der Grenzkurven durchaus scharf. Die Ablesung an dem

mit dem Fernrohr drehbaren Vertikalkreis gibt den Grenzwinkel w der totalen Reflektion innerhalb der Halbkugel gegen den zu untersuchenden Stoff unmittelbar an. Der gesuchte Brechungs-Index n des letztern ist, wenn N den Brechungs-Index der Halbkugel bezeichnet, gleich N sin w.

Beschreibung des Instruments. Abb. 41 stellt ein Kristall-Refraktometer dar, das von W. *Voigt* für das mineralogische Praktikum vorgeschlagen wurde und für die weitaus meisten Zwecke vollkommen ausreicht. Der Apparat gestattet sogar im Gegensatz zu manchen größeren In-

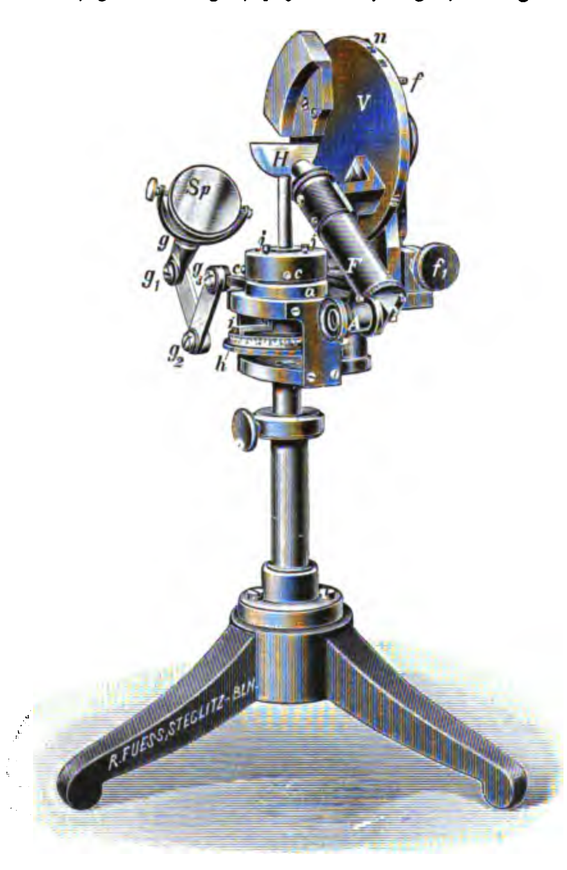


Abb. 41. Kristallrefaktometer.

strumenten seiner Art Messungen zu beiden Seiten der Halbkugel H auszuführen. Das Beobachtungs-Fernrohr F kann also auch in der entgegengesetzten Stellung gebraucht werden. Hierdurch ist einesteils die Möglichkeit gegeben, in bequemer Weise *Kontrollmessungen* zu machen, anderenteils läßt sich dadurch die Justierung des Apparats auf einfachste Art ausführen und nachprüfen. Das Umlegen des Fernrohrs F bedingt auch ein Herumschlagen des Beleuchtungsspiegels Sp um 180°. Der mit den Scharniergelenken g, g_1, g_2 und g_3 versehene Spiegelarm kann zu diesem Zweck um die Drehscheibe a gedreht werden.

Die auf einem langen, dünnen, zylindrischen Stab befestigte, gläserne Halbkugel H ist um eine senkrechte Achse drehbar. Die Größe der jeweiligen Drehung kann an dem in $^1/_1$ Grade geteilten Kreis h und dem zugehörigen Index i abgelesen werden. Zur genauen Justierung und Zentrierung der Halbkugel dienen die Schrauben c und j. Das Beobachtungs-Fernrohr F ist an dem Vertikalkreis V befestigt, der in halbe Grade geteilt ist; sein Nonius n gestattet direkt Minuten abzulesen. Zur feinen Einstellung des Teilkreises dient die Mikrometer-Schraube f_1 nach vorheriger Klemmung durch die Schraube f.

Zur *Untersuchung der Polarisations-Verhältnisse* und zur besseren Trennung der Grenzkurven bei doppeltbrechenden Stoffen befindet sich vor dem Okular des Fernrohrs F ein drehbarer analysierender Nicol A.

Justierung und Gebrauch des Instruments. Bei einem gebrauchsfähigen Kristall-Refraktometer müssen folgende Bedingungen erfüllt sein:

1. Die Halbkugellinse muß genau sphärisch gestaltet sein. Die Erfüllung dieser Bedingung bietet für einen einigermaßen geschickten Optiker keine Schwierigkeiten.

2. Die durch den Mittelpunkt der Kugel gehende Normale auf der Grundfläche muß mit der senkrechten Umdrehungsachse zusammenfallen.

3. Der Mittelpunkt der Kugel muß mit der Achse des Vertikalkreises zusammenfallen. Daß die Grundfläche der Halbkugel durch den Mittelpunkt geht, ist für die Messung nicht von Belang.

4. Die Achse des Vertikalkreises soll nach Möglichkeit normal zur Achse des Horizontalkreises stehen; beide Achsen sollen den Kugel-Mittelpunkt schneiden.

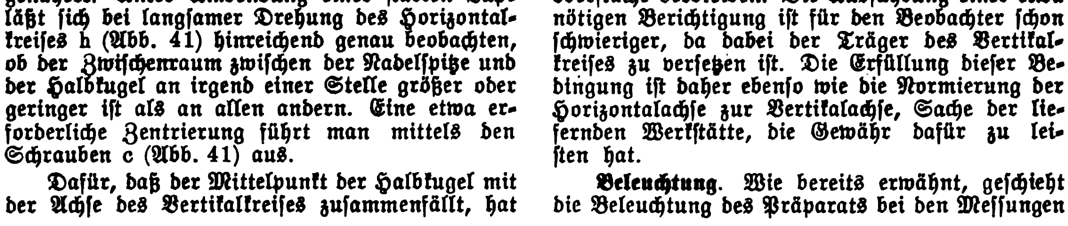
Um zu prüfen, ob die Grundfläche der Halbkugel senkrecht zur senkrechten Umdrehungsachse steht, verfährt man am einfachsten nach der durch Abb. 42 erläuterten Methode. Die vor dem Fernrohr-Objektiv angebrachte Korrektions-Linse wird für die Dauer der Justierung durch Abschrauben entfernt. In Abb. 42 bedeutet A ein entferntes Haus, dessen First oder Dachkante mit dem Kreuzungspunkt der Fäden im Fernrohr F zur Deckung gebracht wird. Bei der Drehung der Halbkugel um ihre senkrechte Achse muß die anvisierte Hauskante im Gesichtsfeld des Fernrohrs still stehen bleiben, sofern die Auflagefläche normal zur Drehungsachse steht. Im anderen Falle muß die Stellung mit Hilfe der Korrektionsschraube j (Abb. 41) berichtigt werden. Es empfiehlt sich, an der Schraubenstellung nur ganz geringfügige Änderungen vorzunehmen, weil man den Fehler sonst leicht verschlimmern kann, statt ihn zu beseitigen.

Während man an den Korrektionsschrauben dreht, soll das Auge *stets am Fernrohr* bleiben, damit man die Wirkung genau verfolgen kann.

Ist auf diese Weise die Justierung der Grundfläche der Halbkugel erfolgt, so ist es nur noch nötig, die *Halbkugel zu zentrieren*[12]). Dazu wird die dem Instrument beigegebene, in ihrer Fassung verstellbare Zentrierspitze N (Abb. 43) an Stelle der bereits abgeschraubten kleinen Korrektions-Linse vor das Objektiv geschraubt und der sphärischen Fläche der Halbkugel möglichst stark

---

[12]) Bis zu einem gewissen Grade muß die Zentrierung natürlich schon erfolgt sein.



genähert. Unter Anwendung einer starken Lupe läßt sich bei langsamer Drehung des Horizontalkreises h (Abb. 41) hinreichend genau beobachten, ob der Zwischenraum zwischen der Nadelspitze und der Halbkugel an irgend einer Stelle größer oder geringer ist als an allen andern. Eine etwa erforderliche Zentrierung führt man mittels den Schrauben c (Abb. 41) aus.

Dafür, daß der Mittelpunkt der Halbkugel mit der Achse des Vertikalkreises zusammenfällt, hat

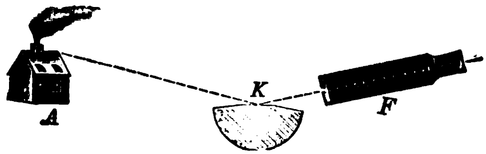


Abb. 42. Justierung der Refraktometer-Halbkugel.

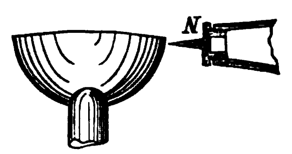


Abb. 43. Zentrierung der Refraktometer-Halbkugel.

die liefernde Werkstätte zu sorgen. Die Höhe des zylindrischen Stiftes, der die Halbkugel trägt, muß also entsprechend abgestimmt sein. Ob diese Bedingung erfüllt ist, läßt sich mit der bereits erwähnten Zentriernadel leicht feststellen, indem man die Nadelspitze mit möglichster Annäherung die Kugel-Oberfläche bestreichen läßt, während man gleichzeitig den Vertikalkreis dreht. Zeigt sich dann z. B. in der durch Abb. 43 veranschaulichten Nadelstellung ein größerer Zwischenraum zwischen Halbkugel und Spitze, als bei einer tiefern, dem Pol der Kugel näheren Stellung, dann liegt der Kugel-Mittelpunkt zu hoch.

Optisch steht dem Beobachter ein noch einfacheres und genaueres Mittel in der Messung

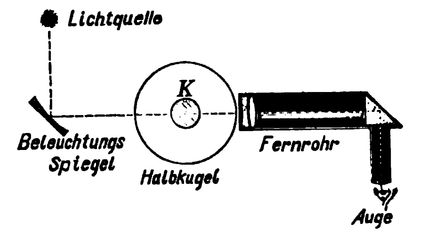


Abb. 44. Stellung der Lichtquelle bei Verwendung des Beleuchtungsspiegels.

irgend eines Stoffes mit bekanntem Brechungs-Index zu Gebote, etwa der Halbkugel selbst (gegen Luft), deren Brechungsindex bei der Lieferung des Instruments genau angegeben wird. Liegt der Kugel-Mittelpunkt unterhalb der horizontalen Achse, so führt die Messung zu einem zu kleinen Grenzwinkel und damit zu einem zu niedrigen Brechungs-Index; liegt der Mittelpunkt über der Achse des Vertikalkreises, so tritt der umgekehrte Fall ein. Je nachdem der Grenzwinkel zu klein oder zu groß ausfällt, wird die erforderliche Änderung am Träger der Halbkugel, wie bei der mechanischen Korrektion vorgenommen.

Die Methode der mechanischen Zentrierung der Halbkugel ermöglicht gleichzeitig die Prüfung, ob sich die Achsen des Vertikal- und Horizontalkreises im Kugel-Mittelpunkt schneiden. In diesem Fall muß die Nadelspitze nämlich bei entgegengesetzter Lage des Fernrohres und bei jeglicher Stellung der Halbkugel in gleichem Abstand von der Kugeloberfläche verbleiben. Die Ausführung einer etwa nötigen Berichtigung ist für den Beobachter schon schwieriger, da dabei der Träger des Vertikalkreises zu versetzen ist. Die Erfüllung dieser Bedingung ist daher ebenso wie die Normierung der Horizontalachse zur Vertikalachse, Sache der liefernden Werkstätte, die Gewähr dafür zu leisten hat.

Beleuchtung. Wie bereits erwähnt, geschieht die Beleuchtung des Präparats bei den Messungen in der Regel mittels einfarbiger Leuchtflammen (Abb. 19), deren zweckmäßigste Stellung durch die Abb. 44 und 45 erläutert wird. Bei Abb. 44 steht die Lichtquelle hinter dem Instrument; das Licht wird durch den Beleuchtungsspiegel Sp[13]) auf das Präparat geworfen. In Abb. 45 ist der Beleuchtungsspiegel behufs kräftigerer Beleuchtung, die besonders bei kleineren Präparaten nötig ist, durch eine Beleuchtungslinse, die jedem Instrument beigegeben wird, ersetzt und die Lichtquelle deshalb links vom Beobachter aufgestellt.

Wo es die Präparate irgend ermöglichen, wird man bei der Beleuchtung die Methode des streifenden Lichteinfalls (Abb. 46) anwenden, weil hierbei die Grenze, wie bereits gesagt

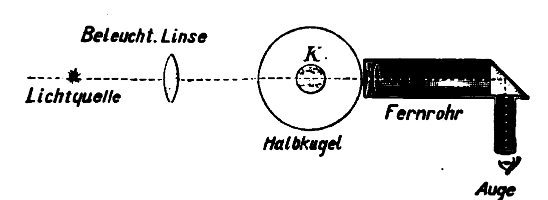


Abb. 45. Stellung der Lichtquelle bei Benützung der Beleuchtungslinse.

wurde, am schärfsten auftritt. Das Sehfeld ist bei der durch Abb. 46 veranschaulichten richtigen Ein-

---

[13]) Bestimmte Angaben darüber, in welchen Fällen dem Hohl- oder dem Planspiegel der Vorzug zu geben ist, lassen sich nicht machen, da die Entscheidung von der Beschaffenheit des zu untersuchenden Kristalls abhängt. Bei kleinen und stark absorbierenden Kristallen leistet im allgemeinen der Hohlspiegel bessere Dienste; bei künstlichen, wenig homogenen und unreinen Kristallen empfiehlt sich die Anwendung des Planspiegels, da die meist schwachen Grenzen bei Benützung des Hohlspiegels selbst bei streifendem Lichteinfall unter Umständen so vom Licht überflutet werden, daß sie häufig nicht zu erkennen sind. Manchmal ist es sogar empfehlenswert, das eintretende Licht dadurch diffus zu machen, daß man ein rund geschnittenes Blättchen dünnen Öl- oder Seidenpapiers auf den Beleuchtungsspiegel legt.

stellung zur Hälfte hell erleuchtet, zur andern Hälfte vollständig schwarz.

Benützt man reflektiertes Licht (Abb. 47), so erscheint die eine Hälfte des Sehfeldes nicht viel dunkler als die andere, die Grenze ist also weniger scharf als im ersten Falle.

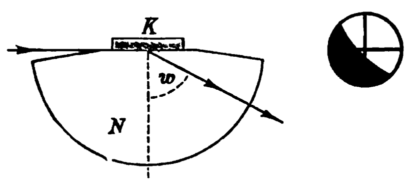


Abb. 46. Beleuchtung mit streifend einfallendem Licht.

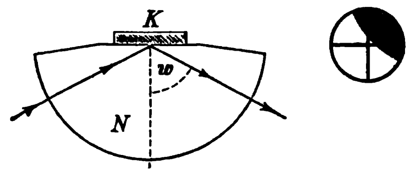


Abb. 47. Beleuchtung mit reflektiertem Licht.

Während bei streifendem Lichteinfall die Verwendung des Spiegels ebenso bequem ist wie die Benützung der Beleuchtungslinse oder der direkten Lichtquelle allein, ist die Anwendung der Beleuchtungslinse bei reflektiertem Licht mit einigen Umständen verknüpft. Da die Lichtquelle in diesem Falle beträchtlich unter der Ebene der Refraktometer-Halbkugel stehen muß, muß man entweder die Lichtquelle oder das Refraktometer auf ein in der Höhe verstellbares Stativ bringen, um den Lichteinfall innerhalb der erforderlichen Grenzen regeln zu können.

Messungs-Beispiele. Als Lichtquelle bei den Messungen diene Natriumlicht. Der Brechungsindex N der Refraktometer-Halbkugel für Natriumlicht sei = 1.7938. Die gemessenen Winkelwerte sind das Mittel aus mehreren Messungen.

1. Quarz // zur optischen Achse geschnitten.

a) Grenzwinkel der ordentlichen Strahlen . . . . = 59° 59′
b) „ „ außerordentlichen Strahlen . . . . . = 59° 24′

a) log. sin. 59° 59′ = 9.9374571
log. von N (1.7938) = 0.2537740
·1912311 = Numerus hiervon . = 1.5532

b) log. sin. 59° 24′ = 9·9348730
log. von N = 0·2537740
·1886470 = Numerus hiervon . = 1.5441

Der Brechungsindex für Na-Licht ist also für die ordentlichen Strahlen . . . . = 1.5532

Der Brechungsindex für Na-Licht ist also für die außerordentlichen Strahlen . . . . = 1.5441

2. Kalkspat // zur optischen Achse geschnitten.

a) Grenzwinkel der ordentlichen Strahlen. . . . . = 56° 59′
b) „ „ außerordentlichen Strahlen . . . . . = 67° 36′

a) log. sin. 55° 59′ = 9·9183183
log. von N = 0·2537740
·1720923 = Numerus hiervon = 1·4863

b) log. sin. 67° 36′ = 9 9659285
a) log. von N = 0.2537740
·2197025 = Numerus hiervon = 1.6585

Der Brechungsindex für Na-Licht ist also für die ordentlichen Strahlen . . . . = 1.4863

Der Brechungsindex für Na-Licht ist also für die außerordentlichen Strahlen . . . . — 1.6585

Die Methoden zur mikroskopischen Untersuchung kristallisierter Körper

von

H. Schneiderhöhn.

Vierter Teil:

Bestimmmung physikalischer Konstanten kristallisierter Körper mit Hilfe des Polarisationsmikroskops.

Vorbemerkung.[14]) Die den kristallisierten Körpern eigentümlichen Eigenschaften sind Anisotropie und Symmetrie.

Die Anisotropie besteht darin, daß verschiedene Richtungen eines homogenen Körpers durch verschiedenes physikalisches Verhalten ausgezeichnet sind. Sie prägt sich am auffälligsten aus in der Verschiedenheit des Wachstums nach verschiedenen Richtungen, die bei unbehindertem Wachstum als die regelmäßige äußere Kristallform in Erscheinung tritt. Ebenso prägt sich die Anisotropie für jede physikalische Energieart, also auch für das Licht dadurch aus, daß sie sich in der einen Richtung in anderer Art durch einen Kristall fortpflanzt, als in anderer Richtung.

Alle Kristallformen, sowie alle an den Kristallen zu beobachtenden physikalischen Erscheinungen lassen einen höheren oder geringeren Grad von Symmetrie erkennen, d. h. „eine Wiederkehr des gleichen physikalischen Verhaltens beiderseits einer Ebene, der Symmetrieebene, oder mit Bezug auf eine Achse, der Symmetrieachse".

Alle Kristalle zerfallen auf Grund des verschieden hohen Symmetriegrades in mehrere „Klassen, deren Anzahl verschieden ist sowohl für die verschiedenen daraufhin untersuchten physikalischen Eigenschaften, als auch für eine und dieselbe Eigenschaft bei verschiedenen Stoffen."

[14]) In Anlehnung an die Werke von Th. Liebisch und F. Klockmann.

Unter allen physikalischen Eigenschaften haben die optischen für die Praxis der Kristall- und Mineralbestimmung die größte Wichtigkeit, weil sie die auffälligsten und am leichtesten erkennbaren Kennzeichen darbieten.

Im folgenden sollen die optischen Erscheinungen kristallisierter Körper, ihre Beobachtung und Messung wesentlich mit Rücksicht darauf behandelt werden, wie sie sich im Universalinstrument des Kristalloptikers, im Polarisationsmikroskop, darstellen.

Dazu ist wenigstens ein kurzer Abschnitt über die optischen Verhältnisse in kristallisierten Körpern erforderlich.

Er mußte dem Zweck dieser Arbeit entsprechend elementarer und vor allem lückenhafter ausfallen, als im Interesse des Gegenstandes und des heutigen Standpunktes der Kristalloptik erwünscht gewesen wäre.

Insbesondere konnte die Bekanntschaft mit der stereographischen Projektion nicht vorausgesetzt werden, ihre Erörterung in dieser Schrift selbst hätte aber zu weit geführt, und somit mußte auf die eingehendere Darlegung mancher in neuerer Zeit sehr geübter und geschätzter Methoden, wie der Becke-Wrightschen Achsenwinkelmessung, und vor allem der Fedorowschen Theodolithmethoden, verzichtet werden.

Die Darstellung der kristalloptischen Erscheinungen lehnt sich an die Lehrbücher von Th. Liebisch und E. A. Wülfing an, die Behandlung der Methodik an die Praktika von E. Weinschenk und E. A. Wülfing.

Durchsichtige Körper.

Vierzehntes Kapitel.

Untersuchungen im gewöhnlichen Licht.

Die hier angeführten Beobachtungen können mit jedem Mikroskop angestellt werden, ohne daß eine polarisierende Vorrichtung dazu nötig ist.

I. Äußere Kennzeichen.

1. Form, Habitus. Die ersten Beobachtungen werden sich auf Angabe der äußeren Form erstrecken, ob unregelmäßige Körner oder als solche schon gleich erkennbare Kristallformen vorliegen. Diese sind nach ihrem Habitus zu bezeichnen als: isometrisch (drei-, vier-, sechsseitig), pyramidal, kurzsäulenförmig, langleistenförmig, prismatisch, stenglig, nadlig, faserig usw. Hierbei ist bei den eigentlichen mikroskopischen Präparaten, den Dünnschliffen, zu beachten, daß ja immer nur ein Durchschnitt des betreffenden Kristalls vorliegt, und daß z. B. ein tafelförmiger Kristall in den meisten Fällen langleistenförmige Durchschnitte liefert. Es ist also über die räumliche Form erst nach Beobachtung mehrerer Durchschnitte etwas auszusagen. — Man begnügt sich nicht mit der qualitativen Angabe der Form, sondern mißt in den meisten Fällen die Dimensionen der Präparate unter dem Mikroskop aus, nimmt also Längen-, Dicken- und Winkelmessungen vor. Wenn die Vergrößerung der betreffenden Objektiv-Okular-Kombination bekannt ist, ist damit dann auch die wirkliche Größe der beobachteten Objekte gegeben.

2. Längenmessung. Die Länge mikroskopischer Objekte wird mittels eines Mikrometers gemessen. Man bringt es entweder am Objekttisch an (Kreuzschlittentisch s. S. 18), wobei aber nicht zu vermeidende kleine Fehler im Schraubengewinde mit der ganzen benutzten Vergrößerung des Mikroskops vervielfacht werden. Genaueren Anforderungen entsprechen die Okularmikrometer. Sie enthalten ein in $^1/_{10}$ oder $^1/_{100}$ mm eingeteiltes Glasplättchen, das an der Stelle des Okulars fest eingesetzt ist oder eingeschoben wird, wo das durch Objektiv und Kollektivlinse des Okulars entworfene reelle Bild des Objekts liegen muß, um durch die Augenlinse deutlich gesehen zu werden; die Augenlinse des Meßokulars ist deshalb verschiebbar eingerichtet, damit das Okular auf verschiedene Augen eingestellt werden kann. Die Größe des Bildes des zu messenden Objektes kann dann nach der Anzahl der Teilstriche, die es bedecken, abgelesen werden. Der Wert eines Mikrometerteilstrichs ist für die verschiedenen Objektive und je nach der Tubuslänge verschieden. Diese verschiedenen Werte sind auf einer den Mikroskopen beigegebenen Tabelle verzeichnet, woraus dann die wahre Größe des Objektes ermittelt wird. — Die genauesten Werte erreicht man mit Hilfe eines Okularschraubenmikrometers, das mit zwei parallelen Fäden, einem feststehenden und einem beweglichen, ausgerüstet ist. Die Bewegung des letzteren kann an einer Schraube mit Trommelteilung bis auf $^1/_{1000}$ mm genau abgelesen werden. Der Wert der Fadenverschiebung ist ebenfalls erst für die jeweilige Vergrößerung zu ermitteln (darüber s. S. 30).

3. Dickenmessung. Die Messung der Dicke eines Minerals im Dünnschliff erlangt dadurch Bedeutung, daß aus ihr und der Interferenzfarbe eines doppelbrechenden Minerals der Wert der Doppelbrechung in der betr. Richtung direkt ermittelt werden kann. Doch sind die Dickenmessungen unter dem Mikroskop nur Annäherungsmethoden. Die gebräuchlichste ist die Umkehrung der Methode des Herzogs von Chaulnes zur Bestimmung des Brechungsindex einer planparallelen Platte unter dem Mikroskop. Man verwende eine starke Vergrößerung, stelle nacheinander auf ein Staubteilchen an der oberen und an der unteren Fläche des Minerals mit Hilfe der Mikrometerschraube des Mikroskops ein und lese dann die Verschiebung des Tubus an der Trommel der Mikrometerschraube ab. Diese Verschiebung ist aber nicht gleich der wirklichen Dicke, sondern um eine Strecke kleiner, die vom Brechungsindex der Platte abhängt. Es ist nämlich die wirkliche Dicke

$D = D' : n$, wenn D' die gemessene Strecke und n der Brechungsindex des Präparats ist. Man wird n meist mit Hilfe der nachstehend beschriebenen Methode annähernd zu bestimmen suchen; andernfalls hilft man sich am besten mit einer Annäherungsmethode und arbeitet mit einem Immersionssystem, wobei man nur die Differenz der Brechungsindizes des Minerals und des Öles in Rechnung zu stellen braucht. Es ist dann $D = D' . \frac{n}{n'}$, worin n' der Brechungsindex des Öles ist. $\frac{n}{n'}$ wird in den meisten Fällen so nahe an 1 liegen, daß eine Vernachlässigung seines Wertes statthaft ist. Wo es irgend geht, wird man aber die Bestimmung nicht in Dünnschliffen ausführen, sondern lose Spaltplättchen benutzen und deren Dicke durch einen der vielen sehr genau arbeitenden Dickenmesser messen, z. B. durch das Sphärometer oder das Interferenzsphärometer (s. S. 36).

4. Winkelmessung. Der drehbare Objekttisch der mineralogischen Mikroskope gestattet leicht eine Messung von e b e n e n Winkeln[15]) in der Tischebene. Voraussetzung ist die genaue Zentrierung des Tisches (s. S. 25). Man schiebt den Scheitelpunkt des zu messenden Winkels in den Mittelpunkt des Okularfadenkreuzes, bringt den einen Schenkel des Winkels mit einem Faden zur Deckung, liest an der feststehenden Marke oder dem Nonius die Stellung des Tisches ab, dreht diesen, bis der andere Schenkel mit dem Faden zusammenfällt und liest wieder ab. Der Unterschied der beiden Ablesungen ergibt direkt die Größe des Winkels. Vorsicht beim Drehen des Tisches über 0 bzw. 360° hinaus! Es empfiehlt sich, den Schenkel des Winkels nicht genau mit dem Faden zur Deckung zu bringen, sondern einen kleinen Zwischenraum zwischen Schenkel und Faden zu lassen; die Parallelstellung kann so viel genauer ausgeführt werden. Immerhin ist bei der Art der meisten mikroskopischen Objekte eine Ablesung auf ganze Grade hinreichend genau. Eine größere Genauigkeit verbietet sich meistens durch die geringe Vollkommenheit der Kristallkanten oder Spaltrisse, die den zu messenden Winkel einschließen, von selbst, wenn auch der Nonius manchmal noch Minuten ablesen läßt. Bei Mikroskopen mit gleichzeitig drehbaren Nicols (s. S. 20 ff.) braucht man bei der Winkelmessung das Objekt nicht zu bewegen, weil das Fadenkreuz sich zugleich mit dem Nicol dreht. Man liest dann die beiden Stellungen an der entsprechenden Gradteilung ab.

Der Zweck der Winkelmessung besteht einerseits darin, für eine kristallisierte Substanz charakteristische Winkelgrößen zu ermitteln, andererseits aus der Verteilung der entsprechenden Winkel in dem Polygon, als das der Durchschnitt eines Kristalles sich darstellt, die zusammengehörigen Flächen zu finden und so Schlüsse auf die Symmetrie der Kristalldurchschnitte zu ziehen. Letzterer Fall tritt besonders häufig bei verzerrten Kristallen (Abb. 48 und 49) und bei Wachstumsformen ein, die durch rasche Kristallisation entstanden sind und in ihrem ersten Stadium sogenannte Kristallskelette bilden.

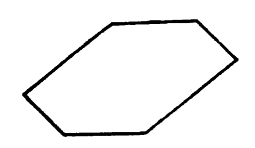


Abb. 48. Durchschnitt eines verzerrten Kristalls; aus der Gleichheit aller sechs Innenwinkel ergibt sich die Gleichberechtigung der sechs Flächen.

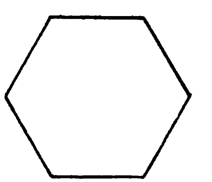


Abb. 49 Derselbe Kristalldurchschnitt, ideal ausgebildet.

Man beachte, daß bei Dünnschliffen die Kristalldurchschnitte jede beliebige Lage haben können und daß zur vollen Auswertung der gemessenen Winkel die Kenntnis der L a g e des betreffendes Schnittes unbedingt erforderlich ist. Wie noch öfters auseinanderzusetzen Gelegenheit sein wird, ist es bei der mikroskopischen Mineraldiagnose eben mit e i n e r Bestimmungsmethode nicht getan. Es müssen verschiedene Methoden kombiniert werden, um zum Ziel zu führen.

5. Spaltbarkeit. Außer bei Kristallumrissen ist die Winkelmessung auch noch von Vorteil bei der Bestimmung der Spaltbarkeit. Alle anisotropen Körper, also alle Kristalle, besitzen in gewissen Richtungen mehr oder minder ausgeprägte Kohäsionsminima, die durch das Schleifen des Präparates sich als Spaltrisse kundgeben. Man redet von vollkom-

[15]) Über die Messung körperlicher Winkel unter dem Mikroskop vgl. Rosenbusch-Wülfing. 1904. I. 1. 195—200.

mener Spaltbarkeit, wie beim Glimmer, wo haarscharfe, schnurgerade und lang anhaltende Risse das Präparat durchsetzen; von weniger vollkommener Spaltbarkeit, wie bei der Hornblende, wo die Risse aussetzen; von deutlicher Spaltbarkeit, wie beim Augit, wo die Risse nur im großen und ganzen noch einer Richtung folgen; und endlich von mangelnder Spaltbarkeit, wie bei Olivin oder Quarz, wo nur ganz unregelmäßige Risse das Präparat durchsetzen. Mit den Spaltrissen sind nicht zu verwechseln die Gleitflächen, gewisse Zwillingsbildungen, sowie schmale Einlagerungen von fremden Substanzen (s. unter Einschlüsse).

Bei Beobachtungen der Spaltrisse ist nicht zu versäumen, sich bei stärkerer Vergrößerung durch Heben und Senken des Tubus zu vergewissern, ob die Spaltflächen auch senkrecht zur Tischebene gelagert sind. Nur in diesem Falle hat die Bestimmung des Spaltwinkels Zweck, da in den anderen Fällen der Winkel je nach der Lage des Schnittes, die oft nicht bekannt ist, wechselt.

6. Mengenverhältnisse. Um in einem Schliff eines Gemenges aus verschiedenen Substanzen die Mengenverhältnisse der einzelnen Komponenten zu ermitteln, kann man verschiedene Wege einschlagen. Sie beruhen alle auf dem Satz, daß der Flächenanteil, den ein Bestandteil in einem Schliff einnimmt, proportional seinem Volumanteil am Aufbau des Gemenges ist[16]).

Nach dem Vorgang von Delesse und Rosiwal zieht man über die Schlifffläche eine möglichst lange, beliebig gestaltete Linie (eine geometrische Indikatrix) und mißt die Strecken aus, mit denen die Indikatrix die zu bestimmende Komponente schneidet. Die Summe dieser Strecken zur Länge der ganzen Indikatrix ist gleich dem Volumanteil der Komponente im Gemenge. Die Genauigkeit nimmt mit wachsender Länge der Indikatrix zu. Man benutzt dazu vorteilhaft das S. 29 schon beschriebene Okular zur Messung der Mengenverhältnisse (Abb. 23).

7. Einschlüsse. Da die Natur der Einschlüsse in Mineralien fast nur mit Hilfe der Verschiedenheit der Lichtbrechung gegenüber dem Einschlußmineral festgestellt werden kann, so sollen diese erst nach Besprechung der Bestimmung der Lichtbrechung abgehandelt werden.

II. Angenäherte Bestimmung der Lichtbrechung unter dem Mikroskop.

8. Allgemeines. Die Methoden, nach denen unter dem Mikroskop die relative Lichtbrechung eines Körpers gegenüber einem anderen oder mit großer Annäherung auch der absolute Brechungsindex eines Körpers bestimmt wird, beruhen auf den Erscheinungen der Totalreflexion an der Grenze zweier Medien verschiedener Brechbarkeit, sowie auf der prismatischen Ablenkung und Farben-Zerstreuung des Lichtes durch Körper in andersbrechender Umgebung.

9. Lichtlinie. Wir betrachten zunächst den Fall (der bei Dünnschliffen immer vorliegt), wo in Kanadabalsam vom Brechungsindex 1,54 Mineralien mit im allgemeinen vom Kanadabalsam verschiedenen Brechungsexponenten eingebettet liegen[17]). In Abb. 50 stößt ein Mineral vom Brechungsindex 1,60 mit einer senkrechten Grenzfläche gegen Kanadabalsam vom Brechungsindex 1,54. Das Präparat wird von unten her mit dem konvergenten Lichtbündel 1 2 3 4 beleuchtet. Die Brechung an der Ober- und Unterfläche des Präparats sei zunächst außer Acht gelassen. Während alle Strahlen des Lichtbündels 3 4 aus dem Kanadabalsam nach links oben mit einer kleinen Ablenkung zum Einfallslot 11 in das dichtere Mineral gebrochen werden, wird vom Lichtbündel 1 2 3 nur der Teil 1 2 aus dem Mineral in den Kanadabalsam übertreten und zwar mit einer Ablenkung vom Lote 11 weg. Der Strahl 2 2′ wird streifend, längs der Grenze Mineral — Balsam, gebrochen. Die Strahlen des Lichtbündels 2 3

[16]) Nach einer Methode von A. Delesse, die besonders von K. Endell ausgebaut wurde, photographiert man mehrere einen guten Durchschnitt des Schliffes gebende Stellen, bestimmt auf einer guten Wage das Gesamtgewicht des photographischen Positivs, schneidet vorsichtig die zu bestimmenden Bestandteile aus und wiegt wieder. Das Verhältnis der Gewichte ergibt das Mengenverhältnis.

[17]) Der Brechungsindex des Kanadabalsams ändert sich beim Altern nur wenig. Vgl. W. Schaller and F. Calkins (Amer. Journ. Sc. (4) 1910. 29. 324.) und E. A. Wülfing (Sitzungsbericht Akad. Wiss. Heidelberg. Math.-naturwissenschaftl. Kl. 1911, 1—26.

mit größerem Brechungswinkel werden wieder in das Mineral hinein *total reflektiert*. Das ursprünglich zentrisch-symmetrisch eingetretene Lichtbündel wird somit das Präparat unsymmetrisch verlassen. Es findet also eine Summierung des Lichtes von der Grenze des Minerals zum schwächer brechenden Medium aus nach dem stärker brechenden Medium statt. Stellt man auf die Bildebene B (Abb. 51) ein, so erscheint die Grenze beider Körper scharf. Senkt man die Bildebene nach B′ durch Hebung des Mikroskoptubus, so tritt die Lichtkonzentration nach der Seite des stärker brechenden Mediums dadurch in Erscheinung, daß nach dieser Seite beim Heben eine schmale helle Lichtlinie sich bewegt. Die umgekehrte Erscheinung, das Wandern dieser Lichtlinie nach dem schwächer brechenden Medium erfolgt dann beim Senken des Tubus bzw. Heben der Bildebene des Okulares nach B″. Besonders deutlich wird die Erscheinung, wenn man nur ganz enge Strahlenkegel verwendet, also entweder die Irisblende unter dem Kondensor eng zuzieht, oder, was denselben Effekt hat, den Kondensor stark senkt.

Der Vorteil der Beobachtung dieser Lichtlinie liegt auf der Hand: bei einigermaßen senkrechter Grenze irgend eines Minerals gegen den Kanadabalsam kann aus ihr sofort geschlossen werden, ob der Brechungsindex des Minerals höher oder niedriger als 1,54 ist. Ebenso können natürlich andere bekannte Mineralien, wie Quarz, Feldspat usw., als Vergleichsobjekte benutzt werden[18].

Man merke sich die Gedächtnisregel: Beim *Heben* des Tubus oder Drehen der Mikrometerschraube im Sinne des Uhrzeigers wandert die Lichtlinie in der Richtung nach dem *stärker* lichtbrechenden Medium zu.

10. Einbettungsmethode. Die Erscheinung der Lichtlinie, wie überhaupt die Totalreflexion, verschwindet naturgemäß in dem Moment, wo ein Mineral denselben Brechungsindex hat, wie Kanadabalsam. Genau wie ein Tropfen Wasser in Wasser verschwindet, so werden auch die Grenzen des Minerals im Kanadabalsam nicht mehr zu sehen sein. Haben wir also ein Mineral von unbekanntem Brechungsindex und steht uns eine Reihe von Flüssigkeiten mit verschiedenen bekannten Brechungsexponenten zur Verfügung, so können wir den Index des Minerals dadurch ermitteln, daß wir es nacheinander in den verschiedenen Flüssigkeiten beobachten, bis seine Grenzen in einer derselben verschwinden. Der Wert des Brechungsvermögens dieser Flüssigkeit stimmt dann mit dem des

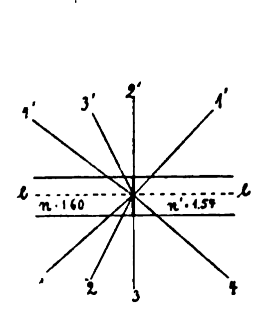


Abb. 50. Strahlengang an der Grenze zweier Medien mit verschiedenem Brechungsindex bei Beleuchtung mit einem konvergentem Lichtbündel zur Demonstrierung der Entstehung der Lichtlinie.

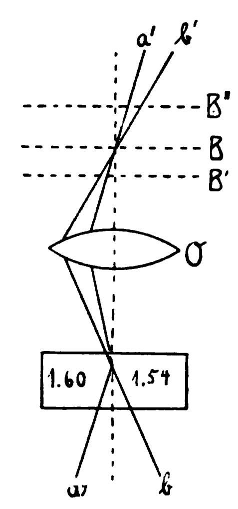


Abb. 51. Lichtlinie an der Grenze zweier Medien bei gehobenem (B′) und gesenktem Tubus (B″).

Minerals überein. Diese Einbettungsmethode wurde 1898 für mineralogische Objekte von *J. L. C. Schröder van der Kolk* ausgearbeitet und wird auch wohl jetzt nach ihm benannt. Um das Herumsuchen unter den Flüssigkeiten zu vermeiden und bei einer, die nicht denselben Index hat wie das Mineral, sofort angeben zu können, ob ihr Index größer oder kleiner ist, kann man die Beckesche Lichtlinie anwenden. Da es sich aber hier gewöhnlich um mehr oder minder rundliche lose Körner handelt, bedient man sich nach dem Vorschlag von *Schröder v. d. Kolk* der *schiefen Beleuchtung*, indem man entweder mit den Fingern oder mit einer Blende zwischen Spiegel und Kondensor einen Teil des eintretenden Lichtes abblendet. Der schematische Gang der Strahlen ist in den Abb. 52—54 dargestellt für ein Korn von größerem, für eins von gleichem und für eins von kleinerem Brechungsindex, wie ihn die benützte Flüssigkeit aufweist. In den Fäl-

[18]) Diese Erscheinung der Lichtlinie ist in der mikroskopischen Petrographie unter dem Namen *Beckesche Linie* bekannt. Nachdem früher schon besonders O. Maschke auf ihre diagnostische Bedeutung aufmerksam gemacht, hat F. Becke 1893 sie als ein bequemes und förderliches Hilfsmittel besonders auch bei der Bestimmung der Feldspäte empfohlen. So ist diese Methode jetzt eine der am häufigsten gebrauchten Methoden in der mikroskopischen Gesteinskunde. Vergl. ihre theoretische Ableitung von *K. Schloßmacher* (Centralbl. f. Min. 1914. Heft 3).

len der Abb. 52 und Abb. 54 gelangt ein Teil des Lichtes nicht ins Objektiv. Je nach der relativen Brechbarkeit des Kornes zur Flüssigkeit wird also entweder der dem Schieber abgewandte oder der dem Schieber zugewandte Rand des Kornes im Bilde verdunkelt (siehe Abb. 52 und Abb. 54 oben).

Die Regel lautet: Bild des Schiebers und Randverdunkelung des Kornes auf entgegengesetzter Seite; Brechungsindex des Kornes höher als der der Flüssigkeit; Bild des Schiebers und Randverdunkelung des Kornes auf derselben Seite; Brechungsindex des Kornes kleiner als der der Flüssigkeit.

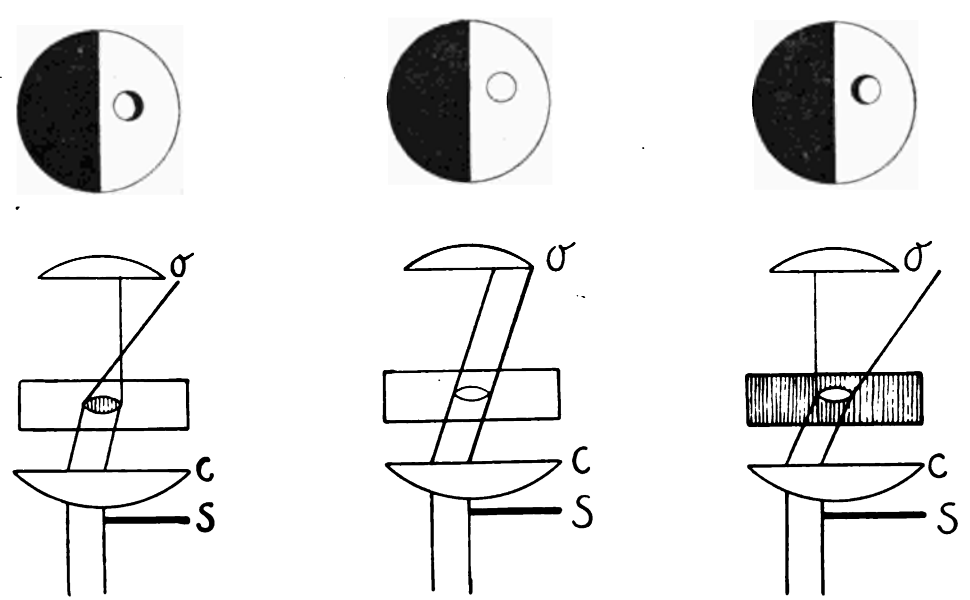


Abb. 52. Schematischer Strahlengang bei einem Körnchen in schwacher lichtbrechender Umgebung bei schiefer Beleuchtung. Darüber Bild im Gesichtsfeld.

Abb. 53. Schematischer Strahlengang bei einem Körnchen in Umgebung von demselben Brechungsindex bei schiefer Beleuchtung. Darüber Bild im Gesichtsfeld.

Abb. 54. Schematischer Strahlengang bei einem Körnchen in starker lichtbrechender Umgebung. Darüber Bild im Gesichtsfeld.

Bei der Beobachtung in einfarbigem Licht (etwa bei Beleuchtung mit einer Natriumflamme oder mit den auf S. 27—28 beschriebenen Monochromatoren) wird im Falle der Abb. 53, wo der Brechungsindex des Kornes für die benutzte Wellenlänge des Lichtes genau gleich der der Flüssigkeit ist, der Rand des Kornes vollkommen verschwinden. Im weißen Licht verschwinden die Ränder aber nie vollständig; vielmehr zeigt sich stets ein verschiedenfarbiger Saum. Die dem Schieber abgewandte Seite ist blau, die zugewandte Seite rötlich. Dies beruht darauf, daß die Flüssigkeiten eine andere und zwar fast immer eine stärkere Dispersion (Farbenzerstreuung) des Lichtes haben, als die festen Körper.

Für diese Bestimmungen sind verschiedene Immersionsflüssigkeiten vorgeschlagen worden. Am brauchbarsten werden solche sein, welche von konstanter chemischer Zusammensetzung sind, die Mineralien nicht angreifen und außerdem gegenüber Luft und Licht möglichst unveränderlich sind. Am meisten hat sich folgende Zusammenstellung von Schröder v. d. Kolk bewährt:

Wasser	1.333
Tetrachlorkohlenstoff	1.466
Bucheckernöl	1.477
Xylol	1.495
Benzol	1.501
Zedernholzöl	1.516
Monochlorbenzol	1.527
Äthylenbromid	1.536
Nelkenöl	1.544
Kanadabalsam	1.54
Nitrobenzol	1.554
Monobrombenzol	1.561
Bromoform	1.588
Zimtöl	1.605
Monojodbenzol	1.621
α-Monochlornaphthalin	1.639
α-Monobromnaphthalin	1.658
Jodmethylen	1.740
Schwefel in Jodmethylen	1.83
Schwefel, geschmolzen bei 110°	1.93

Die Brechungsexponenten beziehen sich bis auf den letzten auf eine Zimmertemperatur von 15°.

Neuerdings empfiehlt H. E. Merwin (Journ. Washingt. Acad. 1913. 3. 35—40) als besonders

hoch lichtbrechende Flüssigkeiten: Mischungen von CHJ_3, SNJ_4, SCJ_4 und Schwefel (1,76—1,87 für Na-Licht bei 20°); Lösungen von As_2S_3 in Methylenjodid (1,76—2,28); Mischungen von amorphem Schwefel mit As_2S_3 in Alkohol zerrieben (2,1—2,6).

Man verwahre die Flüssigkeiten in kleinen Fläschchen mit Glasstöpsel und daran angeschmolzenen Glasstäbchen in Kästen gegen das Licht geschützt auf. Die Brechungsindizes der Flüssigkeiten, die von Zeit zu Zeit nachzuprüfen sind, bestimmt man am schnellsten und genauesten mit Hilfe des Totalreflektometers von Bertrand oder Abbe (s. S. 41—44).

Diese Einbettungsmethode ist von außerordentlicher Bedeutung für die Untersuchung kleinster Mineralbruchstücke aus Sanden, Tonen, vulkanischen Aschen usw. Auch bei der Untersuchung von im Laboratorium hergestellten Kristallen hat sie sich sehr bewährt. Hierbei ist besonders darauf zu achten, daß die zu verwendenden Flüssigkeiten die betreffenden Körper nicht angreifen. Schröder v. d. Kolk hat in seinen „Tabellen zur mikroskopischen Bestimmung von Mineralien nach ihrem Brechungsindex", 2. Aufl. Wiesbaden 1906, über 200 Mineralien angeordnet. Dort sind auch eingehende Anweisungen zum Gebrauche der Methode gegeben, insbesondere auch zur Bestimmung der Brechungsindizes doppelbrechender Mineralien, auf die hier nicht eingegangen werden kann.

11. Relief und Chagrin. Die zuvor beschriebenen Erscheinungen der Lichtlinie an senkrechten Grenzen verschieden brechender Medien, sowie der dunklen und farbigen Ränder an prismatisch geformten Körnern in einem Medium anderer Brechbarkeit bzw. Dispersion geben uns nun die Erklärungen für eine Anzahl Erscheinungen, die jeder Gesteinsdünnschliff unter dem Mikroskop darbietet und die mit dem Namen Chagrin und Relief der Dünnschliffe bezeichnet werden. Engt man den Beleuchtungskegel ein durch Zuziehen der Irisblende oder Senken des Kondensors, so scheinen die verschiedenen Mineralien eines Dünnschliffes nicht mehr in einer Ebene zu liegen. Einige heben sich aus der Fläche heraus, andere scheinen darunter zu liegen, wieder andere verschwinden fast ganz, als ob an ihrer Stelle Löcher im Präparate wären. Diese Erscheinung bezeichnet man als das Relief des Schliffes. Sehen wir genauer zu, so erkennen wir besonders beim Heben und Senken des Tubus an allen Grenzflächen zweier Mineralien die Beckesche Lichtlinie und zwar wandert sie beim Heben des Tubus stets zu dem Mineral hin, das scheinbar höher liegt und von dem Mineral weg, das scheinbar tiefer liegt. Ersteres hat also einen höheren Brechungsindex, als seine Umgebung, letzteres einen geringeren. Das Relief beruht somit auf einer optischen Täuschung, die durch die verschiedene Lage der Lichtlinie hervorgerufen ist, die uns aber, wenn wir uns ihre Entstehung vor Augen halten, schon bei der flüchtigen Durchmusterung eines Schliffes gute Dienste leisten kann. Betrachten wir nun die herausgehobenen oder vertieften Mineralien genauer, am besten bei eingeengtem Beleuchtungskegel und stärkerer Vergrößerung, so gewahren wir, daß ihre Oberfläche ein eigentümliches rauhes Aussehen hat. J. Thoulet hat dieses mit der Oberfläche des Chagrinleders verglichen und man pflegt es direkt das Chagrin eines Minerals im Dünnschliff zu nennen. Im Gegensatz zu diesen Mineralien sind die, welche, wie oben erwähnt, gar nicht aus der Ebene des Schliffes durch ein besonderes Relief herausragen, sondern wie Löcher im Präparat aussehen, vollständig klar und durchsichtig. Stößt ein solches Mineral irgendwo an Kanadabalsam an, und prüfen wir seine relative Lichtbrechung mit Hilfe der Lichtlinie, so macht es uns große Mühe, die Ränder überhaupt zu sehen, und wir müssen den Strahlengang schon sehr stark einengen, um wenigstens eine ganz schwache Lichtlinie zu sehen. Es ist kein Zweifel: dieses Mineral hat fast genau denselben Brechungsindex wie Kanadabalsam. Jedes Mineral und damit der ganze Dünnschliff, erhält durch den Schleifprozeß eine bei solchen Vergrößerungen deutlich sichtbare, rauhe Oberfläche, die mit Kanadabalsam ausgefüllt ist; nur verschwinden diese Rauhigkeiten vollständig, wenn Mineral und Balsam dieselbe Lichtbrechung haben, da die Lichtstrahlen dann unabgelenkt von einem ins andere übergehen. Bei einer Verschiedenheit des Brechungsvermögens aber wirken kleine Stückchen des Minerals infolge dieser Rauhigkeit als prismatische Körper, brechen stellenweise die Strahlen sehr schief weg oder totalreflektieren sie gar, sodaß sie beim Austritt des Lichtes nicht ins Objektiv gelangen; der Effekt ist dann der unregelmäßige Austritt des Lichtes und das „chagrinöse" Aussehen.

12. Optische Erscheinungen an Einschlüssen. Auf verschiedener Brechbarkeit beruht auch die Beobachtung der Inhomogenitä-

ten und Diskontinuitäten der Kristallsubstanz. Als Inhomogenitäten im engeren Sinne bezeichnet man die Erscheinungen, die auf einem Wechsel der chemischen Zusammensetzung der eigentlichen Kristallsubstanz beruhen. Ihre Besprechung gehört nicht hierher, ebenso nicht die Behandlung der stofflichen Natur der Einschlüsse, d. h. der Fremdkörper in der eigentlichen Kristallsubstanz, der mechanisch beigemengten Körper, die man als Einschlüsse oder nach einer Bezeichnungsweise von H. Rosenbusch als „Gäste" des Kristalls bezeichnet, der die Rolle des „Wirtes" spielt (genaueres darüber z. B. Wülfing I. 1, 372 bis 394). Dagegen sei kurz auf die optischen Erscheinungen der Einschlüsse eingegangen. Es sind meist Flüssigkeiten, Mutterlauge oder wässerige Lösungen oder Gase, die sich als Einschlüsse vorfinden, die also einen erheblich geringeren Brechungsindex besitzen, als das betreffende Mineral. Deshalb sind sie bei Einstellung des Objektivs auf die Mitte des Einschlusses stets von einem breiten dunklen Rand begrenzt, der durch Brechung und Totalreflektion hervorgebracht ist. Bei den Einschlüssen *fester* Körper anderer Mineralien usw. kommt der relative Brechungsindex zum Einschlußmineral in Betracht. Die Erscheinungen sind dann dieselben, wie sie oben beschrieben wurden.

Fünfzehntes Kapitel.

Die optischen Verhältnisse in kristallisierten Körpern.

1. Gewöhnliches Licht. Das gewöhnliche Licht besteht aus Ätherschwingungen, die senkrecht zu seiner Fortpflanzungsrichtung O A

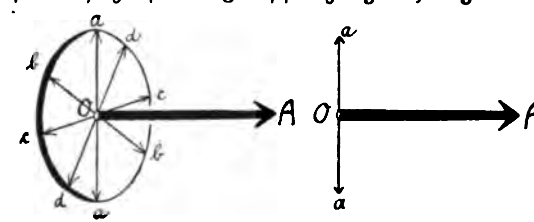


Abb. 55. Fortpflanzungsrichtung O A und Schwingungsrichtungen a O a, b O b, c O c, d O d bei gewöhnlichem Licht.

Abb. 56. Fortpflanzungsrichtung O A u. Schwingungsrichtung a O a bei linear polarisiertem Licht.

(Abb. 55) erfolgen (*transversale* Wellenbewegung). Diese Schwingungen erfolgen beim gewöhnlichen Licht nacheinander in den unendlich vielen zur Fortpflanzungsrichtung senkrechten Richtungen mit unmeßbarer Geschwindigkeit des Wechsels (a O a, b O b, c O c, usw.).

2. Polarisiertes Licht. Wenn die Schwingungen nur in einer und zwar immer in derselben Richtung senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung (a O a, Abb. 56) erfolgen, so nennen wir dieses Licht linear *polarisiertes* Licht (Abb. 56).

Wie ein Farbenblinder ohne künstliche Hilfsmittel die Farben nicht voneinander unterscheiden kann, so besitzt das normale menschliche Auge auch nicht ohne weiteres die Fähigkeit, das polarisierte von gewöhnlichem Licht zu unterscheiden. Erst durch besondere Vorrichtungen, wie Reflexion unter gewissen Winkeln an Spiegeln oder Glasplatten, oder mit Hilfe von doppelbrechenden Kristallen sind wir in der Lage, aus den hierbei entstehenden Erscheinungen auf die Anwesenheit und den genaueren Schwingungszustand des polarisierten Lichtes zu schließen. Hieraus ergibt sich umgekehrt *die große Bedeutung, die das polarisierte Licht zur Erkennung doppelbrechender Kristalle und zur genaueren Bestimmung ihrer Eigenschaften hat.*

3. Doppelbrechung. Eine Eigenschaft, die beim optischen Studium vieler Kristalle uns auffällt, ist ihre Doppelbrechung, d. h. *die Fähigkeit, einen einfallenden Strahl gewöhnlichen Lichtes im allgemeinen in zwei Strahlen zu zerlegen.* — Fällt auf einen einfach brechenden Körper, z. B. auf eine Flüssigkeitsschicht oder eine Glasplatte, ein Lichtstrahl a b schief auf, so wird er von seiner Richtung zwar abgelenkt, pflanzt sich aber innerhalb

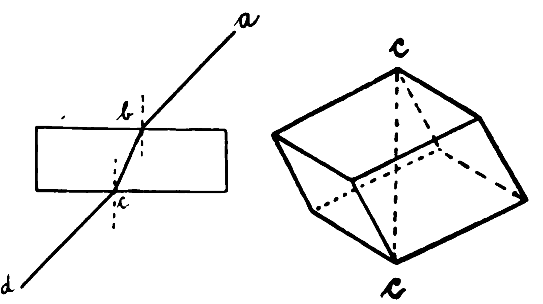


Abb. 57. Brechung eines Lichtstrahls durch eine planparallele Platte eines einfach brechenden Körpers.

Abb. 58. Rhomboeder-Spaltungsform des Kalkspats.

der Platte noch als einfacher Lichtstrahl fort (Abb. 57 b c). Beim Austritt aus der Platte wird er wieder abgelenkt und zwar um denselben Winkel wie beim Eintritt, nur nach der anderen Seite. Ganz anders verhalten sich die doppeltbrechenden Kristalle. Läßt man

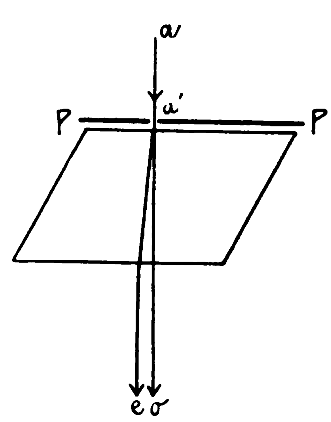


Abb. 59. Doppelbrechung im Kalkspat.

auf ein Spaltungsrhomboeder von Kalkspat (Abb. 58) einen Lichtstrahl fallen, indem man z. B. ein Stück schwarzes Papier mit einer feinen Öffnung darin auf die eine Seite legt, und beobachtet diese Öffnung von der anderen Seite her, so erscheint sie doppelt (Abb. 59).

4. Art der Lichtbewegung in einfachbrechenden Körpern. Durch Beobachtung und Messung an einfachbrechenden Körpern kam man zu der Erkenntnis, daß die Ablenkung des Lichtes beim Eintritt von einem in einen anderen Körper stets nach einem bestimmten Gesetz, dem Snelliusschen Brechungsgesetz, erfolgt.

Dieses Brechungsgesetz sagt aus: die Geschwindigkeit des Lichtes in Luft, dividiert durch die Geschwindigkeit des Lichtes in einem anderen Körper ist gleich einer konstanten Größe, die für den betr. Körper charakteristisch ist und als Brechungsindex oder Brechungsexponent bezeichnet wird. Wenn also der Brechungsexponent des Wassers gleich 1,33 ist, so bedeutet dies, daß die Geschwindigkeit des Lichtes in Luft zu der im Wasser sich wie 1,33 zu 1 verhält, daß also das Licht im Wasser, wie in den weitaus meisten Körpern, eine geringere Geschwindigkeit hat, wie in Luft oder im leeren Raum.

5. Art der Lichtbewegung in doppelbrechenden Körpern. Prüfen wir, wie die Fortpflanzung der beiden Strahlen im Kalkspat erfolgt, so sehen wir, daß der eine Strahl a' o (Abb. 59) dem Snelliusschen Brechungsgesetz folgt. Wir nennen ihn den ordentlichen Strahl. Dagegen folgt der andere Strahl a' e diesem Gesetz nicht mehr; er wird der extraordinäre oder außerordentliche Strahl genannt.

Es haben somit beide Strahlen auch eine verschiedene Geschwindigkeit, und zwar ist im Kalkspat die Geschwindigkeit des außerordentlichen Strahles größer, sein Brechungsexponent also kleiner, als beim ordentlichen Strahl.

Analog verhalten sich alle doppelbrechenden Körper. In ihnen pflanzen sich im allgemeinen in jeder Richtung zwei Lichtbewegungen fort, die verschiedene Geschwindigkeiten besitzen.

6. Polarisation durch Doppelbrechung. Weitere Untersuchungen ergaben nun, daß diese beiden in doppelbrechenden Körpern aus einem einzigen gewöhnlichen Lichtstrahl entstehenden Strahlen kein gewöhnliches Licht mehr sind, wie es der einfallende Strahl aa' war, sondern daß sie beide linear polarisiert sind, d. h. nur noch in je einer die Fortpflanzungsrichtung in sich enthaltenden Ebene schwingen. Die Schwingungsebenen des ordentlichen und außerordentlichen Strahles stehen stets aufeinander senkrecht, wie es Abb. 60 andeutet.

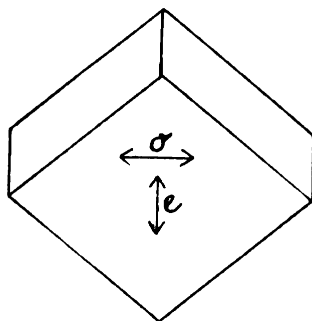


Abb. 60. Schwingungsrichtungen des ordentlichen (o) und außerordentlichen (e) Strahles im Kalkspat.

7. Charakterisierung des linear polarisierten Lichtes. Wir beschrieben linear polarisiertes Licht als nur in einer Ebene schwingend. Die durch J. C. Maxwell und H. Hertz begründete elektromagnetische Lichttheorie unterscheidet bei dem polarisierten Licht mehrere Vektoren, d. h. Richtungen, in denen sich gewisse physikalische Zustandsgrößen periodisch ändern. Für die elementare Beschreibung der Polarisationserscheinungen, wie sie hier gegeben werden soll, ist es unnötig, darauf weiter

einzugehen. Für diese Ableitung genügt es vielmehr, nur eine Vektorgröße zu berücksichtigen, deren Wahl zudem noch gleichgültig ist. Nach dem Vorgang von Fresnel, dem Begründer der Elastizitätstheorie des Lichtes, wählen wir hierzu den sogen. Fresnelschen Elastizitätsvektor, dem nach der elektromagnetischen Lichttheorie der elektrische Vektor entspricht. Er wird als die Schwingungsrichtung linear polarisierten Lichtes bezeichnet. Von ihr soll fortan allein zur Charakterisierung des polarisierten Lichtes die Rede sein, und zwar sollen bei einachsigen Körpern mit a resp. c die Schwingungsrichtungen des schnelleren resp. langsameren Strahles, bei zweiachsigen Körpern mit a, b, c die Schwingungsrichtungen des schnellsten, mittleren und langsamsten Strahles bezeichnet werden.

Nach dieser Definition können wir nun die Schwingungsrichtungen im Kalkspat festlegen. Es schwingt der außerordentliche Strahl e immer in der Ebene, die durch den einfallenden Strahl und die kristallographische Hauptachse des Kalkspats bestimmt ist, in dem sogenannten Hauptschnitt, der ordentliche Strahl o schwingt stets senkrecht zum Hauptschnitt.

8. Indexfläche. Um uns ein Bild von den optischen Verhältnissen in einem Körper, z. B. in Wasser oder in Glas oder auch in den verschiedenen Kristallen zu verschaffen, können wir den oder die Brechungsexponenten in verschiedenen Richtungen messen und uns ihre Größe von einem Punkt aus nach den betr. Richtungen aufgetragen denken. Verbinden wir alle Endpunkte dieser Strecken, so erhalten wir ein körperliches Gebilde, das man als Indexfläche bezeichnet, deren Radien also die Brechungsexponenten in der betreffenden Richtung darstellen. Je nach der Beschaffenheit der Indexfläche können wir nun alle Körper, insbesondere die kristallisierten Körper in drei Gruppen einteilen, nämlich: in 1. optisch isotrope Körper, 2. Kristalle mit einer Achse der Isotropie oder einachsige Kristalle, 3. Kristalle ohne Achse der Isotropie oder optisch zweiachsige Kristalle.

9. Isotrope und anisotrope Körper. Man bezeichnet homogene Körper, in denen jede Richtung jeder anderen physikalisch gleichberechtigt ist, als isotrop. Homogene Körper, die in verschiedenen Richtungen verschiedenes physikalisches Verhalten zeigen, nennt man anisotrope Körper. Zu den anisotropen Körpern gehören alle Kristalle. Sie verhalten sich aber in bezug auf verschiedene physikalische Energiearten verschieden, sodaß z. B. für strahlende Energie ein Kristall des regulären Systems isotrop ist, gegenüber Druck oder Schlag ist er aber immer anisotrop (er ist spaltbar). Näheres über das allgemeine physikalische Verhalten der kristallisierten Körper s. Th. Liebisch: Grundriß der physikalischen Kristallographie 1896.

10. Einteilung der kristallisierten Körper nach der Symmetrie ihrer optischen Eigenschaften. Die 32 nach der geometrischen Symmetrie unterscheidbaren Klassen kristallisierter Körper ordnen sich nach der Symmetrie ihrer optischen Eigenschaften in zehn Klassen, wie folgende Übersicht zeigt, die teils dem Grundriß der physikalischen Kristallographie, 1896, von Th. Liebisch entnommen ist, teils der Darstellung von Th. Liebisch in seinem Kolleg.

Einteilung der Kristalle nach optischen Eigenschaften (nach Th. Liebisch)

A. Optisch isotrope Kristalle.

In jedem homogenen Kristall des **regulären** Systems sind alle Richtungen in optischer Beziehung gleichberechtigt.

I. Ohne Drehungsvermögen. Einfach brechend; für optische Vorgänge ist jede Gerade eine Achse der Isotropie und jede Ebene eine Symmetrieebene.
[Flußspat, Steinsalz.]

II. Mit Drehungsvermögen. Doppelbrechend; noch ist jede Gerade eine Achse der Isotropie, aber Symmetrieebenen sind nicht vorhanden.
[Natriumchlorat.]

B. Optisch anisotrope Kristalle mit einer Achse der Isotropie oder optisch einachsige Kristalle.

In jedem Kristall des **hexagonalen, trigonalen** und **tetragonalen** Systems sind die gegen die kristallographische Vertikalachse c unter dem-

selben Winkel geneigten Richtungen optisch gleichberechtigt, so daß c eine Achse der Isotropie ist. Jede auf c senkrecht stehende Gerade ist eine zweizählige Symmetrieachse. Eine Trennung der 3 Systeme kann auf optischem Wege nicht vorgenommen werden. Wohl aber lassen sich in jedem System wieder zwei Klassen unterscheiden:

III. Ohne Drehungsvermögen. Jede durch die Achse der Isotropie hindurchgehende Ebene und die auf dieser Achse senkrechte Ebene ist eine Symmetrieebene. [Kalkspat, Turmalin.]

IV. Mit Drehungsvermögen. Es ist keine Symmetrieebene vorhanden. Die Richtung der Achse der Isotropie ist durch ein optisches Drehungsvermögen ausgezeichnet. [Quarz, Zinnober.]

C. Optisch anisotrope Kristalle ohne Achse der Isotropie oder zweiachsige Kristalle.

V. Rhombische Kristalle ohne Drehungsvermögen. Es sind bei optischen Vorgängen stets drei aufeinander senkrechte Symmetrieebenen vorhanden, deren 3 Schnittgeraden zweizählige Symmetrieachsen sind. [α-Schwefel, Aragonit.]

VI. Rhombische Kristalle mit Drehungsvermögen. Es ist keine Symmetrieebene mehr vorhanden, wohl aber noch die drei aufeinander senkrecht stehenden zweizähligen Symmetrieachsen. [Bittersalz.]

VII. Monokline Kristalle ohne Drehungsvermögen. Es ist für sie eine Symmetrieebene und eine zu ihr senkrechte, zweizählige Symmetrieachse charakteristisch. [Gips, Orthoklas.]

VIII. Monokline Kristalle mit Drehungsvermögen. Keine Symmetrieebene mehr, nur noch die zweizählige Symmetrieachse. [Rohrzucker, Weinsäure.]

IX. Trikline Kristalle ohne Drehungsvermögen. Es existiert weder eine Symmetrieebene noch eine Symmetrieachse, nur eine zentrische Symmetrie ist noch vorhanden. [Plagioklase, Kaliumbichromat.]

X. Trikline Kristalle mit Drehungsvermögen. Völlig unsymmetrisch. [—]

Die ungrad bezifferten Klassen I, III, V, VII, IX enthalten die Kristalle ohne Drehungsvermögen, oder die optisch inaktiven Körper. Diese bilden die weitaus größte Mehrzahl der kristallisierten Körper und herrschen bei den natürlich vorkommenden Mineralien, mit Ausnahme von Quarz, Zinnober und Bittersalz ausschließlich. Deshalb sollen sie ausführlich im Zusammenhang behandelt werden.

Daran schließt sich dann ein kurzer Abschnitt über das Verhalten der anderen Klassen, der Kristalle mit Drehungsvermögen oder der optisch aktiven Körper.

a) Kristalle ohne Drehungsvermögen oder optisch inaktive Kristalle.

11. (A I) **Optisch isotrope Körper.** In optisch isotropen, inaktiven, homogenen Körpern sind alle Richtungen in optischer Beziehung gleich berechtigt. Deshalb ist das Brechungsvermögen nach allen Richtungen auch dasselbe, jede Richtung ist eine Achse der Isotropie, in jeder Richtung pflanzt sich nur ein Strahl gewöhnlichen, nicht polarisierten Lichtes fort: Die Indexfläche dieser Körper ist also eine Kugel. Optisch isotrop sind Gase, die meisten Flüssigkeiten, amorphe feste Körper (im spannungsfreien Zustand), z. B. Glas, und die Kristalle des regulären Systems, z. B. Steinsalz, Flußspat, Diamant.

12. Optisch anisotrope Körper. In optisch anisotropen Körpern sind nur gewisse Richtungen optisch einander gleich berechtigt. Die hierher gehörigen Stoffe zerlegen im allgemeinen einen auf sie auffallenden Lichtstrahl in zwei, die senkrecht aufeinander polarisiert sind und die sich mit verschiedener Geschwindigkeit und in verschiedenen Richtungen durch den Körper hindurchbewegen. Optisch anisotrope Körper sind die Kristalle des hexagonalen, trigonalen, tetragonalen, rhombischen, monoklinen und triklinen Kristallsystems.

Unter den optisch anisotropen Kristallen unterscheidet man zwei Arten:

13. (B III) **Optisch anisotrope Kristalle mit einer Achse der Isotropie oder einachsige Kristalle.** Sie besitzen eine Achse der Isotropie, d. h. eine optische und kristallographische Symmetrieachse, die die Schnittgerade von optischen und kristallographischen Symmetrieebenen ist, und in deren Richtung sich nur eine Welle fortpflanzt, also keine Dop-

pelbrechung stattfindet. Untersucht man die beiden in allen anderen Richtungen durch Doppelbrechung entstandenen Strahlen, so findet man, daß einer von ihnen, der ordentliche Strahl, alle hierher gehörigen Kristalle in jeder beliebigen Richtung mit derselben Geschwindigkeit durchläuft, daß also sein Brechungsindex in jeder Richtung der nämliche ist und daß somit die Indexfläche des ordentlichen Strahles dieselbe ist, wie die Indexfläche der isotropen Körper, nämlich eine Kugel. Der andere Strahl besitzt eine von der Richtung gesetzmäßig abhängige, variable Geschwindigkeit und somit auch in jeder Richtung einen verschiedenen Brechungsexponenten. Die Brechungsexponenten sind im allgemeinen größer oder kleiner, wie der ordentliche Index, nur in einer einzigen Richtung fällt der Wert des außerordentlichen mit dem Wert des ordentlichen Brechungsindex zusammen. Diese Richtung heißt optische Achse. Sie fällt mit der Achse der Isotropie zusammen. In ihr findet also keine Doppelbrechung statt, jeder Strahl wird in dieser Richtung nur einfach gebrochen. Die optische Achse fällt bei den hierher gehörigen Kristallen des hexagonalen, trigonalen und tetragonalen Systems zusammen mit der in diesen Systemen auftretenden kristallographischen Hauptachse. In allen anderen Richtungen, die gegen diese Achse geneigt sind, treten andere Werte der außerordentlichen Brechungsindizes auf und zwar haben alle Strahlen, die mit der Achse gleiche Winkel einschließen, auch denselben außerordentlichen Brechungsindex. Je größer der Winkel der Strahlen gegen die Hauptachse ist, um so größer wird die Differenz des außerordentlichen Brechungsexponenten gegen den Wert des ordentlichen. Das Maximum wird somit erreicht für alle Strahlen in der Ebene senkrecht zur optischen Achse. Konstruieren wir

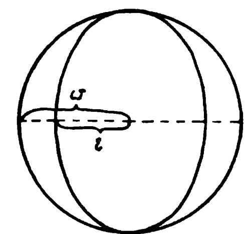


Abb. 61. Durchschnitt durch die Indexfläche eines optisch negativen einachsigen Kristalls.

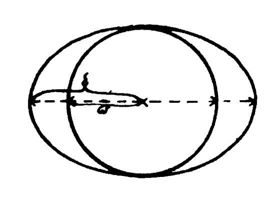


Abb. 62. Durchschnitt durch die Indexfläche eines optisch positiven einachsigen Kristalls.

also nach gemessenen Werten die Indexfläche der außerordentlichen Strahlen, so erhalten wir einen Umdrehungskörper, dessen Umdrehungsachse die optische Achse oder Achse der Isotropie ist, deren numerischer Wert gleich dem Durchmesser der als Kugel erkannten Indexfläche der ordentlichen Strahlen ist. Da die Werte mit wachsender Neigung gegen die Hauptachse kontinuierlich ab- oder zunehmen, ist die Gestalt der außerordentlichen Indexfläche die eines Rotationsellipsoids, und die vollständige Indexfläche eines einachsigen Kristalls besteht also aus zwei Flächen, einer Kugel und einem Rotationsellipsoid, die sich an zwei Punkten berühren, deren Verbindungslinie die Achse der Isotropie ist. Dabei können zwei Fälle eintreten: sämtliche Brechungsexponenten der außerordentlichen Strahlen außerhalb der Achse sind kleiner, wie die des ordentlichen Strahles. Dann umschließt die Kugel der Indexfläche das Ellipsoid (Abb. 61). Kristalle dieser Art werden optisch negative Kristalle oder Kristalle mit negativem Charakter der Doppelbrechung genannt (z. B. Kalkspat). Das Umgekehrte ist der Fall bei optisch positiven Kristallen oder Kristallen mit positivem Charakter der Doppelbrechung. Hier haben alle außerordentlichen Strahlen außerhalb der Achse größere Indizes, als der ordentliche Strahl, und die Kugel wird von dem Ellipsoid umschlossen (Abb. 62). Bezeichnet man den ordentlichen Brechungsindex mit ω, den davon am meisten abweichenden Wert des außerordentlichen Index mit ε, so gibt der Wert $\varepsilon - \omega$ die Doppelbrechung des betreffenden Kristalls an. Dieser Wert ist, wie aus den Abb. 61 und 62 hervorgeht, bei negativen Kristallen negativ und bei positiven positiv.

14. (C. V, VII, IX) **Optisch anisotrope Kristalle ohne Achse der Isotropie oder zweiachsige Kristalle.** Die optischen Verhältnisse in den zweiachsigen Kristallen, d. h. in den Kristallen des rhombischen, monoklinen und triklinen Systems, sind viel komplizierter. Wie schon in der Überschrift gesagt, existiert in den hierher gehörigen Körpern keine Richtung mehr, die die optischen und kristallographischen Symmetrieeigenschaften der Achse der Isotropie einachsiger Körper hat. Dagegen gibt es zwei Richtungen, die primären optischen Achsen, in denen sich nur

eine Welle fortpflanzt, wo also keine Doppelbrechung stattfindet. In allen anderen Richtungen werden alle Strahlen doppelt gebrochen und diese gebrochenen Strahlen sind außerordentliche Strahlen, d. h. im allgemeinen folgt keiner mehr dem gewöhnlichen Brechungsgesetz.

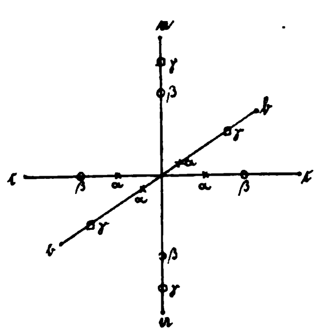


Abb. 63. Verteilung der drei Hauptbrechungsindizes in den drei Hauptschwingungsrichtungen eines zweiachsigen Kristalls.

Beide von demselben Impuls von außen her im Innern des Kristalls sich fortpflanzenden Lichtwellen sind stets wieder senkrecht aufeinander polarisiert. — Es gibt in den zweiachsigen Kristallen drei aufeinander senkrecht stehende Richtungen, a, b, c, die optischen Symmetrieachsen oder Hauptachsen. Von ihnen ist die Richtung a die Achse der größten, c die der kleinsten und b die einer mittleren Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes. Die Brechungsindizes der parallel den optischen Symmetrieachsen schwingenden Strahlen heißen die Hauptbrechungsindizes, α, β, γ.

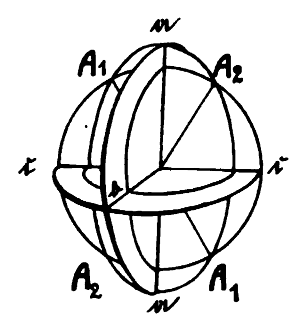


Abb. 64. Perspektivische Ansicht der drei Hauptschnitte der Indexfläche eines zweiachsigen Kristalls.

Parallel jeder Hauptachse pflanzen sich zwei Strahlen fort mit den Brechungsexponenten α und β, α und γ, und β und γ, wie es Abb. 63 andeutet. Man nennt die drei aufeinander senkrecht stehenden Ebenen, die durch je zwei Hauptachsen bestimmt sind, Hauptschnitte. Sie sind optische Symmetrieebenen. Die Hauptschnitte schneiden die Indexfläche je in einem Kreis und in einer Ellipse, die folgende Radien, bzw. Halbachsen besitzen:

Hauptschnitt	Radius des Kreises	Halbachsen der Ellipse
b c	α	β γ
a b	γ	α β
a c	β	α γ

In dem Hauptschnitt a b wird der Kreis von der Ellipse umschlossen, in dem Hauptschnitt b c umschließt die Ellipse den Kreis, beide Male ohne gegenseitige Berührung, in dem Hauptschnitt a c schneidet der Kreis die Ellipse in vier Punkten. In Abb. 64 sind die Hauptschnitte der Indexfläche auf der dem Beschauer zugewandten Seite gezeichnet. Man sieht, wie in der Ebene a c die beiden Oberflächen, aus denen die ganze Indexfläche besteht, sich in je 4 Punkten schneiden, die

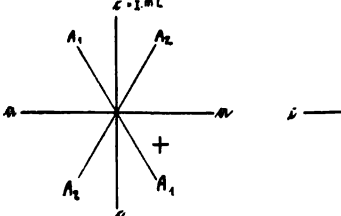


Abb. 65. Durchschnitt durch die Achsenebene eines optisch positiven zweiachsigen Kristalls.

Abb. 66. Durchschnitt durch die Achsenebene eines optisch negativen zweiachsigen Kristalls.

Verbindungslinien je zweier gegenüberliegender Punkte $A_1 A_1$ und $A_2 A_2$ werden primäre optische Achsen genannt. In ihrer Richtung pflanzt sich nur eine Lichtwelle mit dem mittleren Brechungsindex β fort, so daß diese Richtungen der optischen Achse eines einachsigen Mediums ähnlich sind. Doch unterscheiden sie sich von dieser in optischer Beziehung dadurch, daß in ihrer Richtung noch eine eigentümliche Art der Lichtbewegung stattfindet, die sogen. innere konische Refraktion, auf die hier nicht weiter eingegangen werden kann; außerdem sind sie keine Achsen der Isotropie, d. h. keine Symmetrieachsen des betreffenden Kristalls und stellen überhaupt keine ausgezeichnete kristallographische Richtung dar. Wie die Abb. 65 und 66 zeigen, werden die Winkel der primären optischen Achsen von den optischen Symmetrieachsen a, c halbiert. Diese werden deshalb auch die Mittellinien oder Bisektrizen genannt, und zwar heißt die Achse,

die den spitzen Winkel halbiert, spitze oder erste Mittellinie, die andere heißt analog stumpfe oder zweite Mittellinie. Die ganze Ebene, die durch a und c und die beiden optischen Axen A_1, A_2 gegeben ist, wird optische Achsenebene genannt.

Die dritte optische Symmetrieachse, die auf der Achsenebene senkrecht steht, heißt optische Normale; sie entspricht stets der Richtung der größten Doppelbrechung $\gamma - \alpha$. Ist die spitze Mittellinie (wie im Fall der Abb. 65), die Richtung kleinster Fortpflanzungsgeschwindigkeit, so wird der Kristall als positiv bezeichnet, ist sie die Richtung größter Fortpflanzungsgeschwindigkeit (wie in Abb. 66), so liegt ein negativer Kristall vor.

Es erübrigt noch die Angabe, welche Lage die drei optischen Symmetrieachsen und die beiden primären optischen Achsen zu den kristallographischen Achsen a, b, c zweiachsiger Kristalle haben, und welche Rolle sie für deren allgemeine kristallographische Charakteristik spielen.

15. (V) **Rhombische Kristalle.** Im rhombischen System stimmen die optischen Symmetrieachsen für alle Wellenlängen des Lichtes und für alle Temperaturen mit den 3 kristallographischen Symmetrieachsen überein. Sie sind wirkliche optische Symmetrieachsen. Infolgedessen zeigen die Mittellinien und die optische Normale keine Dispersion, d. h. sie liegen für alle Farben und auch für alle Temperaturen an derselben Stelle. Dagegen sind die Lagen der optischen Achse für verschiedene Farben verschieden, aber so, daß die verschiedenen Lagen alle in die Hauptschnitte fallen und symmetrisch zu den Mittellinien liegen.

16. (VII) **Monokline Kristalle.** Im monoklinen System ist nur eine kristallographische Symmetrieachse vorhanden, mit der eine der optischen Symmetrieachsen für alle Farben und alle Temperaturen zusammenfällt. Welche, ist bei verschiedenen Kristallen verschieden. Diese zeigt also nie Dispersion, dagegen sind die beiden anderen Achsen, ebenso wie die optischen Achsen, mehr oder weniger dispergiert. Über die verschiedenen Arten dieser Dispersion siehe weiterhin.

17. (IX) **Trikline Kristalle.** Im triklinen System existiert keine kristallographische Symmetrieachse, infolgedessen können die drei optischen Symmetrieachsen beliebig zu den äußeren Umgrenzungen liegen, sie sind alle mehr oder weniger dispergiert.

b) Kristalle mit Drehungsvermögen oder optisch aktive Kristalle.

18. Allgemeines. Die seither betrachteten Klassen von kristallisierten Körpern hatten die gemeinsame Eigenschaft, daß sich bei ihnen in Richtung der optischen Achsen nur eine Welle fortpflanzte.

Bei den Körpern der anderen 5 Klassen II, IV, VI, VIII, X pflanzen sich in den Richtungen der optischen Achsen zwei Schwingungen fort, diese Körper zeigen daher auch in den Richtungen der optischen Achsen Doppelbrechung. Und zwar sind diese Schwingungen in Richtung der optischen Achsen im Gegensatz zu der gewöhnlichen Polarisation nicht linear, sondern kreisförmig, zirkular polarisiert. Es bewegen sich in Richtung einer optischen Achse zwei Wellen in Kreisschwingungen durch den Kristall, und zwar in miteinander entgegengesetztem Sinne: die eine schwingt von rechts nach links, die andere von links nach rechts. Beide Schwingungen haben gleiche Fortpflanzungsrichtung, aber ungleiche Geschwindigkeit. Beim Austritt aus dem Kristall setzen sich beide zirkularen Schwingungen wieder zu einer linearen zusammen, die genau dieselbe Schwingungsebene haben müßte, die das auf dem Kristall auffallende linear polarisierte Licht hatte, wenn die Fortpflanzungsgeschwindigkeiten beider zirkularen Schwingungen im Kristall genau dieselben gewesen wären. Da aber die eine Schwingung der anderen vorauseilt, ist die beim Austritt resultierende lineare Schwingungsebene nicht mehr die ursprüngliche, sondern gegen diese um einen bestimmten Winkel gedreht, und zwar nach rechts, wenn die von rechts nach links schwingende Welle der anderen vorauseilt, und nach links, wenn die von links nach rechts schwingende Welle die schnellere ist.

Diese Drehung der Polarisationsebene des Lichtes durch die optisch aktiven Körper ist also eine Folge der zirkularen Polarisation des Lichtes und der Doppelbrechung in Richtung einer optischen Achse.

19. (II) **Optisch isotrope Kristalle mit Drehungsvermögen.** Jede Richtung ist eine Achse der Isotropie. Infolgedessen zeigen die hierher gehörigen regulären Körper in jeder Richtung Doppelbrechung und Drehungsvermögen.

20. (IV.) **Optisch einachsige Kristalle mit Drehungsvermögen.** Es existiert nur

eine Achse der Isotropie, in deren Richtung Drehungsvermögen herrscht.

21. (VI. VIII. X.) **Optisch zweiachsige Kristalle mit Drehungsvermögen.** Drehungsvermögen findet sich in den Richtungen der beiden primären optischen Achsen. Nach der Anzahl der Symmetrieelemente gibt es drei Klassen, von denen aber nur aus den Klassen VI und VIII bis jetzt Vertreter bekannt sind.

Sechzehntes Kapitel.

Die Bestimmungsmethoden kristallisierter Körper mit Hilfe linear polarisierten Lichtes.

1. **Herstellung linear polarisierten Lichtes. Das Nicolsche Doppelprisma.** Wir haben im Kalkspat ein Mittel, um polarisiertes Licht herzustellen. Wir brauchen nur den einen der beiden Strahlen irgendwie wegzuschaffen, sodaß nur der andere austritt. Dies wird bei den Polarisationsprismen erreicht, deren eine ganze Anzahl angegeben worden sind. Wir wollen nur das älteste und auch heute noch am meisten benutzte betrachten, das Nicolsche Doppelprisma. (Siehe Abb. 1, S. 10).

Das Nicolsche Doppelprisma, kurz der Nicol genannt, besteht aus einem Spaltungsstück von Kalkspat, das ungefähr dreimal länger als breit ist. Es wird so in der Richtung der kürzeren Diagonale ss zerschnitten, daß der Winkel bei s = 90° beträgt. Die beiden Teile I und II werden dann mit Kanadabalsam wieder zusammengekittet. Ein auf I einfallender Lichtstrahl teilt sich in die beiden senkrecht zueinander polarisierten Strahlen. Der außerordentliche Strahl tritt durch den Kanadabalsam in II ein. Für den ordentlichen ist aber der Brechungsindex höher als der des Kanadabalsams und sein Einfallswinkel an der Balsamschicht größer als der Winkel der Totalreflexion. Er wird deshalb an dieser Balsamschicht total reflektiert und an der schwarzen Fassung des Nicols absorbiert (siehe S. 10). Es tritt also aus dem oberen Prisma II nur der außerordentliche Strahl heraus, der vollständig linear polarisiert ist. Den eigentlichen Polarisator bildet somit das untere Prisma I in Verbindung mit der Balsamschicht. Das obere Prisma II hat nur den Zweck, das untere zur planparallelen Platte zu ergänzen, so daß keine Ablenkung der Fortpflanzungsrichtung und bei Beleuchtung mit weißem Licht keine Dispersion (Farbenzerstreuung) stattfinden kann.

I. Untersuchungen mit einem Nicol.

2. **Absorption. Pleochroismus.** In jedem Körper wird beim Durchgang des Lichtes ein Teil des Lichtes absorbiert, bei Verwendung weißen Lichtes werden hierbei die verschiedenen Lichtarten verschieden stark absorbiert. Wenn das Auge diese ungleiche Absorption bemerkt, so redet man von der Farbe des betreffenden durchsichtigen Körpers. Bei optisch isotropen Medien muß in allen Richtungen gleiche Absorption herrschen. Das liegt schon in der Definition des Wortes isotrop (siehe S. 54). Anders bei den optisch anisotropen Kristallen. Bei ihnen war die Brechbarkeit des Lichtes in verschiedenen Richtungen verschieden groß und, wie die Beobachtungen zeigen, ist dies der Fall auch mit der Absorption. Nicht nur die quantitative Schwächung des Lichtes ist in verschiedenen Richtungen eines Kristalls verschieden groß, sondern es wird auch oft in einer Richtung mehr die eine Farbe, in der anderen Richtung mehr die andere Farbe absorbiert. Man bezeichnet die Erscheinung, daß anisotrope Körper nach verschiedenen Richtungen verschiedene Lichtarten verschieden stark absorbieren, als Pleochroismus. Wie alle physikalischen, also auch die optischen Vorgänge, so müssen auch die Erscheinungen des Pleochroismus der kristallographischen Symmetrie entsprechen. Es sind also bei den einachsigen Mineralien alle Richtungen parallel der Hauptachse in bezug auf Absorption einander gleichwertig. Dagegen werden die Lichtstrahlen, die senkrecht zur Hauptachse schwingen, eine andere Absorption besitzen, und zwar stellt diese den Extremwert gegen die Absorption der achsenparallelen Strahlen dar. In allen Zwischenlagen ist die Farbe eine Zwischenfarbe, die sich aus der Kombination der beiden Extremfarben ergibt. Man bezeichnet diese Zwischenfarbe als Flächenfarbe und die Extremwerte als Achsenfarben. Wir werden gleich ein Mittel kennen lernen, um die Flächenfarben in ihre Achsenfarben zu zerlegen. Da in einachsigen Kristallen also die Farben zwischen zwei Extremwerten

schwanken, so redet man hier von Dichroismus.

Bei der Absorption in zweiachsigen Kristallen haben wir drei Richtungen extremer farbiger Absorption oder drei Farbenachsen, die beim rhombischen System mit den drei optischen Symmetrieachsen zusammenfallen müssen, während im monoklinen

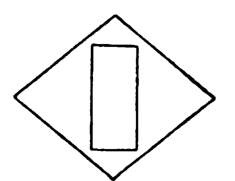


Abb. 67. Geringe Absorption des außerordentlichen Strahles in einer Turmalinplatte.

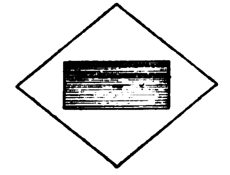


Abb. 68. Starke Absorption des ordentlichen Strahles in einer Turmalinplatte.

System nur noch eine Farbenachse mit der optischen Symmetrieachse, die zugleich kristallographische Symmetrieachse ist, zusammenfallen muß. Im triklinen System können endlich die Farbenachsen ganz beliebig liegen. Doch ist hinzuzufügen, daß diese ebenso wie die beiden anderen Achsen im monoklinen System gewöhnlich nur einen kleinen Winkel mit den optischen Symmetrieachsen bilden.

Die Beobachtung des Pleochroismus ist sehr einfach. Da die Achsenfarben bestimmten Schwingungsrichtungen entsprechen, brauchen wir nur mit dem linear polarisierten Lichte zu arbeiten, das uns der Polarisator des Mikroskopes liefert. Durch Drehung des auf dem Objekttisch angebrachten Kristallpräparates gelingt es leicht, die Stellungen extremer Absorption festzustellen, wie sie Abb. 67 und 68 an einer Platte eines Turmalins parallel zur Hauptachse zeigen. Hier wird der ordentliche Strahl stärker absorbiert wie der außerordentliche, was man durch die Absorptionsformel $\omega > \varepsilon$ ausdrückt. Bei anderen Mineralien ist es umgekehrt, sodaß die Bestimmung des Pleochroismus ein wichtiges Hilfsmittel zum Bestimmen gefärbter Mineralien abgibt. Da wir im Mikroskop immer nur Platten untersuchen können, sind zur genauen Bestimmung der Absorption mehrere in verschiedener Richtung geschnittene Platten erforderlich. Verschiedene Schnitte gefärbter Mineralien zeigen daher, auf die verschiedenen Systeme verteilt, folgende Änderungen ihrer Farbe:

1. Alle Schnitte zeigen gleiche Farbe, keine Änderung der Absorption mit der Richtung: amorphe Körper oder reguläre Kristalle.

2. Wechsel zwischen zwei verschiedenen Farben oder Farbentönen: zwei Absorptionsachsen: einachsige Mineralien.

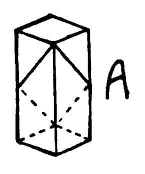
3. Wechsel zwischen drei verschiedenen Farben oder Farbentönen: drei Absorptionsachsen: zweiachsige Mineralien.

Es ist noch zu bemerken, daß der Pleochroismus vieler Mineralien in den 2—3 hundertstel mm dicken Dünnschliffen bis zur Unmerklichkeit verschwinden kann. In diesen Fällen tut man gut, dickere Präparate — etwa Spaltblättchen — in Kanadabalsam oder eine der S. 50 angegebenen Immersionsflüssigkeiten eingebettet zu untersuchen.

II. Untersuchungen mit zwei Nicols.

3. Interferenzerscheinungen in doppelbrechenden Kristallen. Eine große Anzahl von sehr charakteristischen Erscheinungen entsteht, wenn zwei durch Doppelbrechung in anisotropen Medien entstandenen Strahlen zur Interferenz gebracht werden. Die Beobachtung dieser Interferenzerscheinungen doppelbrechender Kristalle hat deshalb großen diagnostischen Wert und nimmt bei der optischen Bestimmung den breitesten Raum ein. Das universellste Instrument zu diesen Beobachtungen ist das Polarisations-Mikroskop.

4. Polarisationseinrichtungen am Polarisations-Mikroskop; gekreuzte Nicols. Wie schon im instrumentellen Teil (p.) weiter auseinandergesetzt ist, besitzen die mineralogisch-petrographischen Mikroskope zwei polarisierende Vorrichtungen oder Polarisationsprismen. Der Polarisator ist gewöhnlich ein Prisma nach Glan-Thompson, der Analysator ein Nicolsches Doppelprisma. Der Polarisator erzeugt aus dem gewöhnlichen natürlichen oder künstlichen Licht linear-polarisiertes Licht und schickt es ins Präparat. In einem doppelbrechenden Mineral wird im allgemeinen dieses linearpolarisierte Licht in zwei senkrecht zueinander schwingende Komponenten zerlegt. Diese beiden Komponenten werden durch den Analysator wieder auf eine einzige Schwingungsebene zurückgeführt, sie gelangen so zur Interferenz. Denn zwei durch Doppelbrechung entstandene, linearpola-



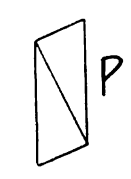


Abb. 69. „Gekreuzte Nicols". Die Schwingungsrichtungen des Polarisators P und Analysators A stehen aufeinander senkrecht.

risierte Strahlen können nur dann miteinander interferieren, wenn sie aus einem linear polarisierten Lichtstrahl hervorgegangen sind, (das ist hier das durch den Polarisator erzeugte Licht) und wenn sie wieder auf eine Schwingungsebene zurückgeführt werden (das besorgt der Analysator).

In den meisten Fällen wird bei gekreuzten Nicols beobachtet (Abb. 69), d. h. die Hauptschnitte der beiden Polarisationsprismen stehen senkrecht aufeinander, und die vom Polarisator kommenden, linearpolarisierten Strahlen werden an der Balsamschicht des Analysators total reflektiert. Das Gesichtsfeld ist also ohne Präparat vollkommen dunkel.

5. Parallelstrahliges und konvergentes polarisiertes Licht; orthoskopische und konoskopische Beobachtungsmethode. Man kann die Interferenzerscheinungen an Kristallen nach zwei Methoden beobachten: im sogen. parallelstrahligen Licht: orthoskopische Beobachtung, und im konvergenten Licht: konoskopische Beobachtung. Ihr Unterschied besteht einmal in der Art der Beleuchtung des Objektes und zweitens in der Art der Beobachtung der Erscheinung. Bei der Untersuchung im senkrecht einfallenden, parallelstrahligen, polarisierten Licht durchsetzt das Licht das Präparat zum großen Teil nur in einer Richtung, eben in der Richtung senkrecht zur Kristallplatte. Die Interferenzerscheinungen, die dieses senkrecht einfallende Lichtbündel in der Kristallplatte hervorbringt, werden orthoskopisch beobachtet, d. h. auf die Netzhaut fällt das Bild der Kristallplatte und damit der in ihr lokalisierten Interferenzerscheinung. Hingegen durchlaufen bei Beleuchtung mit konvergentem polarisierten Licht viele Lichtkegel von den verschiedensten Neigungen das Präparat, und bei der hier ausgeübten konoskopischen Beobachtungsweise fällt das Bild der in der hinteren Brennebene des Objektivs abgebildeten Interferenzerscheinung auf die Netzhaut, nicht das Bild des Präparates selbst.

a) Die Beobachtungen im parallelstrahligen polarisierten Licht.

6. Isotrope Medien im parallelstrahligen polarisierten Licht. Gerade so wenig, wie Luft oder eine isotrope Flüssigkeit, die man zwischen die beiden Nicols bringt, den Polarisationszustand des aus dem Polarisator hervorgegangenen Lichtes ändert, so wirkt auch ein Plättchen eines isotropen Kristalls, einerlei welche Lage zu den Nicols es auch hat, nicht darauf. Sämtliche Lichtstrahlen erfahren bei diesen Medien bei senkrechtem Eintritt gar keine Veränderung ihrer Richtung und bei schiefem Eintritt auch nur eine Parallelverschiebung durch das Plättchen, die Art des aus dem Polarisator hervorgegangenen Lichtes wird nicht verändert. Dieses wird also bei gekreuztem Nicol am Analysator ebenso totalreflektiert, und das Gesichtsfeld ist deshalb ebenso dunkel, wie wenn kein Plätt-

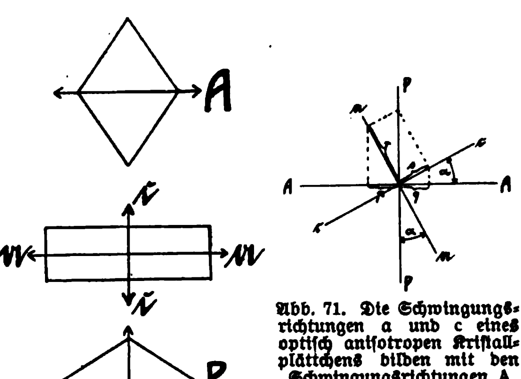


Abb. 70. Die Schwingungsrichtungen a und c eines optisch anisotropen Kristallplättchens liegen parallel den Schwingungsrichtungen der Nicols A und P.

Abb. 71. Die Schwingungsrichtungen a und c eines optisch anisotropen Kristallplättchens bilden mit den Schwingungsrichtungen A und P der gekreuzten Nicols den Winkel α. Zerlegung des vom Polarisator durchgelassenen parallel P schwingenden Lichtes im Kristall in die zwei Komponenten r und s, von denen nur die Komponenten p und q vom Analysator durchgelassen werden.

chen zwischen den Nicols gelegen hätte. Ein isotroper Körper bleibt also bei gekreuzten Nicols bei jeder Stellung dunkel.

7. Anisotrope Körper im parallelstrahligen polarisierten Licht. Um die Erscheinungen zu verstehen, die ein Plättchen eines anisotropen Körpers bei gekreuzten Nicols darbietet, müssen wir uns zunächst der Angaben auf S. 53 erinnern, daß von den beiden durch Doppelbrechung entstandenen Strahlen in einem anisotropen Kristall jeder eine ganz bestimmte Schwingungsrichtung hat, und daß also nur Licht dieser aufeinander senkrecht stehenden Schwingungsrichtungen den Kristall durchsetzen kann.

Liegt also eine anisotrope Kristallplatte, wie es in Abb. 70 schematisch angedeutet ist, so zwischen den Nicols, daß die Schwingungs-

richtungen a und c mit den Schwingungsrichtungen A und P der Nicols übereinstimmen, so wird das nach P schwingende polarisierte Licht, das aus dem Polarisator kommt, in gleicher Richtung nach c schwingend durch die Platte gehen und in seiner Gesamtheit am Analysator totalreflektiert werden; genau derselbe Fall tritt ein, wenn a in die Richtung P fällt. Eine solche Lage wird bei einer Vollumdrehung des Objekttisches und damit des Präparates um 360° viermal eintreten. *Eine Platte eines anisotropen Kristalles erscheint daher zwischen gekreuzten Nicols in vier Stellungen dunkel*, eben dann, wenn ihre Schwingungsrichtungen parallel den Schwingungsrichtungen der beiden gekreuzten Nicols liegen. Drehen wir die Platte so, daß ihre Schwingungsrichtungen a und c den Winkel α mit P und A bilden (Abb. 71), so treten andere Erscheinungen ein.

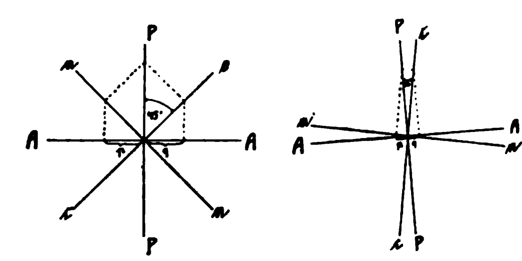


Abb. 72. Maximale Intensität des von A durchgelassenen Lichtes, wenn a und c mit den Schwingungsrichtungen des Nicols den Winkel α = 45° bilden.

Abb. 73. Sehr geringe Intensität des von A durchgelassenen Lichtes, wenn a und c mit den Schwingungsrichtungen des Nicols den sehr kleinen Winkel α bilden.

Das vom Polarisator kommende parallel PP schwingende Licht muß sich in der Kristallplatte nach dem Gesetz des Parallelogramms der Kräfte in die zwei Komponenten r und s zerlegen, die in den in der Platte allein möglichen Schwingungsrichtungen a und c schwingen. Von diesen Strahlen hat der eine eine größere Geschwindigkeit als der andere, beide sind also beim Austritt aus der Kristallplatte eine Strecke von einander entfernt, die man, in Millimetern ausgedrückt, als *Gangunterschied* bezeichnet. Wie wir gleich sehen werden, ist dieser Gangunterschied zusammen mit der Dicke der Platte ein Maß für die Doppelbrechung. Nach Austritt aus der Platte bewegen sich die beiden Schwingungen r und s unabhängig voneinander durch die Luft und treffen auf den Analysator, der nur Licht in der Richtung AA durchläßt. Bei abermaliger Zerlegung in die Komponenten wird von r die Komponente p und von s die Komponente q parallel AA schwingen, und demnach werden beide vom Analysator durchgelassen werden. Diese beiden Strahlen, die von derselben Quelle herkommen, nämlich von PP, die einen Gangunterschied haben und vom Analysator auf dieselbe Ebene gebracht werden, kommen nun miteinander zur Interferenz und werden beim Austritt eine Interferenzfarbe zeigen, deren Höhe von verschiedenen Umständen bedingt wird. Die Intensität des austretenden Lichtes ist in erster Linie abhängig von der Größe der durch AA durchgegangenen Kompenenten p und q. Wie die Abb. 72 und 73 zeigen, werden diese und damit die Intensitäten am größten, wenn die Schwingungsrichtungen a und c des Präparates um 45° zu den Schwingungsrichtungen der Nicols gedreht sind; die Intensität nimmt mit kleineren Winkeln immer mehr ab, bis schließlich, wie wir sahen, wenn α = 0°, d. h. die Schwingungsrichtung der Platte mit denen der Nicols zusammenfällt, gar kein Licht mehr durchgelassen wird.

Ein Plättchen eines doppelbrechenden Minerals wird also im allgemeinen zwischen gekreuzten Nicols bei einer Umdrehung um 360° viermal dunkel werden und in den Zwischenstellungen aufhellen. Man bezeichnet die Dunkelstellungen auch als *Auslöschungslagen* und die Zwischenstellungen als *Aufhellungslagen*.

Die Lagen der Schwingungsrichtungen im Kristall und damit die Lage der Auslöschungsrichtungen in Präparaten muß ein Abbild der Kristallsymmetrie sein. Deshalb stehen die Auslöschungslagen nun zu den kristallographischen Richtungen, wie Kristallflächen, Kanten und Spaltrissen in ganz bestimmten Beziehungen, die bei den verschiedenen Kristallsystemen verschieden sind, und die deshalb ein sehr wichtiges Hilfsmittel abgeben zur genaueren Bestimmung der Symmetrie der Platte und des Kristalls und damit des Kristallsystems. *Es gehört somit die genauere Erkennung der Auslöschungslage und die Messung des Winkels zwischen ihr und einer kristallographischen Richtung, die Messung der sogen. Auslöschungsschiefe, zu den wichtigsten Bestimmungen bei der mikroskopischen Mineraluntersuchung.*

8. Lage der Schwingungsrichtungen zu kristallographisch bestimmten Richtungen in den verschiedenen Kristallsystemen. Bei den einachsigen Kristallen, also den Kristallen des hexagonalen, trigonalen und tetragonalen Systems fällt eine Schwingungsrichtung stets mit der kristallographischen Hauptachse zusammen, die andere steht auf ihr senkrecht; ebenso fallen im rhombischen System die Schwingungsrichtungen mit den Kristallachsen zusammen. Bei Körpern dieser Systeme werden also stets die Schwingungsrichtungen mit den kristallographischen Richtungen übereinstimmen, die parallel oder senkrecht zu der kristallographischen Hauptachse bei einachsigen oder parallel den drei Hauptachsen des rhombischen Systems verlaufen. Der Durchschnitt ist disymmetrisch. Man redet in diesem Falle von gerader Auslöschung (Abb. 74). Sind nur Flächen an den Kristallen ausgebildet, die zwei oder drei Kristallachsen schneiden, so werden infolge der ebenfalls vorhandenen Symmetrie nach zwei aufeinander senkrecht stehenden Ebenen die Schwingungsrichtungen die Winkel zwischen zwei je zusammengehörigen Flächen halbieren, es tritt symmetrische Auslöschung ein (Abb. 75). Bei monoklinen Kristallen fällt nur noch eine Schwingungsrichtung für alle Farben mit einer Kristallachse, der Querachse b, zusammen. Es werden also auf allen Flächen, welche parallel dieser Querachse laufen, also in der Zone der Querachse, die Auslöschungen ebenfalls gerade sein in bezug auf die Richtung b. Da in allen diesen bisher beobachteten Fällen die Schwingungsrichtung für alle Farben die nämliche war, wird die Auslöschung auch für alle Farben zu gleicher Zeit eintreten. Die Dunkelheit ist also auch bei Beleuchtung mit weißem Licht eine vollkommene. Anders ist es mit den zwei anderen Schwingungsrichtungen der monoklinen Kristalle und mit allen drei Schwingungsrichtungen im triklinen System. Sie stimmen nicht mehr überein mit einer kristallographischen Richtung, die Schnitte sind asymmetrisch; es besteht eine Schiefe der Auslöschung und hier muß man zur Charakterisierung der Substanz den Winkel angeben, den die Schwingungsrichtung mit einer bekannten kristallographischen Richtung bildet (Abb. 76). Da außerdem die Lage der Schwingungsrichtungen für verschiedene Farben und bei verschiedenen Temperaturen verschieden ist, d. h. der Auslöschungswinkel mit der Farbe und der Temperatur wechselt, wird man bei weißem Licht im allgemeinen die Einstellung auf Dunkelheit nicht mehr scharf erkennen. Je nach der Größe der Abweichung für verschiedene Farben ist diese Dispersion der Schwingungsrichtungen verschieden. Bei genaueren Bestimmungen führt man deshalb diese Beobachtung im monochromatischen Lichte aus (s. S. 27—28) und muß außerdem zur genaueren Charakterisierung, wenn die bei der Beobachtung herrschende Temperatur sich von

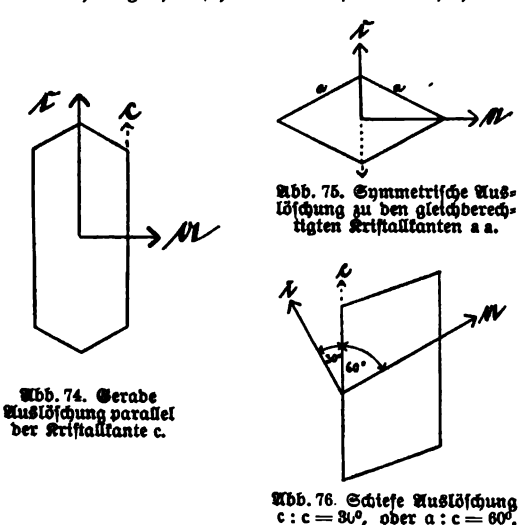


Abb. 74. Gerade Auslöschung parallel der Kristallkante c.

Abb. 75. Symmetrische Auslöschung zu den gleichberechtigten Kristallkanten a a.

Abb. 76. Schiefe Auslöschung c : c = 30°, oder a : c = 60°.

der gewöhnlichen Zimmertemperatur 15 bis 22° C entfernt, auch diese angeben.

9. Praktische Bestimmung der Lage der Schwingungsrichtungen oder der Auslöschungslagen. Diese Bestimmung ist theoretisch sehr einfach: Da die Fäden des Okularfadenkreuzes den Schwingungsrichtungen der Nicols entsprechen, braucht man nur eine Kristallkante oder einen Spaltriß bekannter Richtung parallel einem Faden zu stellen, am Objekttisch die Stellung abzulesen und dann bei eingeschaltetem Analysator zu sehen, ob diese Stellung mit einer Dunkelstellung des Präparates übereinstimmt oder nicht. Im letzteren Falle dreht man das Objekt solange bis Dunkelheit eintritt, liest wieder ab und hat in der Differenz den Winkel der Auslöschung oder die Auslöschungsschiefe gegen die betreffende kristallographische Richtung. In der Praxis ist aber die exakte Ausführung dieser Bestimmung nicht so einfach und auch nicht in allen Fällen anzuwenden. Denn einmal ist der Übergang zur maximalen Dunkelheit ein sehr allmählicher, und das Auge ist für die geringen Unterschiede in der Nähe der Dunkel-

lage nicht sehr empfindlich. Um ohne weitere Hilfsmittel möglichst genaue Messungen anzustellen, sorge man für sehr intensive Beleuchtung (Gasglühlicht oder Sonnenlicht durch Mattscheibe). Die Beleuchtung muß außerdem genau zentral sein, wovon man sich überzeugt, wenn man bei abgenommenem Okular in den Tubus hineinsieht. Das Bild der Lichtquelle muß dann genau in der Mitte des Kondensors erscheinen. Sodann arbeite man bei möglichst parallelstrahligem Lichte, also man ziehe die Irisblende stark zu oder senke den Beleuchtungsapparat tief herunter. Die ausklappbare Kondensorlinse, die stark konvergentes Licht ins Präparat schickt, ist bei diesen Beobachtungen natürlich weggeklappt. Unter diesen Beobachtungsumständen wird die Einstellung auf maximale Dunkelheit recht genau, wenn man mehrere Male die Einstellung immer nur durch Drehen von rechts her, dann ebenso oft durch Drehen von links her vollzieht. Das Mittel aus den Mittelwerten beider Einstellungen ist dann ein recht brauchbarer Wert.

Es sind eine Menge Apparate konstruiert und empfindliche Methoden angegeben worden, bei denen schon ganz kleine Unterschiede in der Lage der Schwingungsrichtungen der zu untersuchenden Kristallplatte von der der Nicols dem Auge bemerkbar werden. Nach einem von F. von Kobell zuerst angewandten Ausdruck werden diese Apparate auch als Stauroskope und die Methoden als stauroskopische Methoden bezeichnet. Von den zahlreichen Methoden bespreche ich hier nur einige wenige, die einfach sind und zugleich eine größere Genauigkeit verbürgen, wie es die soeben beschriebene sorgfältige Einstellung auf Dunkelheit tut.

a) Ein Plättchen mit der empfindlichen Farbe Rot I. Ordnung („teinte sensible"). Hierzu wird gewöhnlich ein Spaltplättchen von Gips genommen, das für sich eine Interferenzfarbe vom Rot I. Ordnung zeigt (s. später). Es wird zwischen zwei Glasplättchen gefaßt den Mikroskopen beigegeben und in dem Schlitz über dem Objektiv eingeschoben, derart, daß seine beiden Schwingungsrichtungen unter 45° gegen die der Nicols orientiert sind, das Plättchen also die intensivste Interferenzfarbe zeigt. Wenn ein Mineral in der Auslöschungsstellung sich befindet und man schaltet das Gipsplättchen ein, so zeigt das vorher dunkle Gesichtsfeld Rot I. Ordnung, das das Gipsplättchen für sich allein bei gekreuzten Nicols auch nur zeigen würde. Es zeigt aber eine andere Farbe, sobald das Mineral nicht genau in der Auslöschungsstellung ist, sobald also das Präparat allein noch eine ganz geringe Aufhellung des Gesichtsfeldes bewirkt hätte. Dieser ohne Gipsplatte als Helligkeitsdifferenz kaum oder schwer bemerkbare Fehler in der Einstellung macht sich mit Gipsplättchen als Farbenunterschied bemerkbar, weil schon eine geringe Änderung des Gangunterschiedes genügt, um die Farbe von Rot nach Orange oder nach Indigoblau umschlagen zu lassen (s. Näheres bei den Interferenzfarben). Diese Methode ist dann besonders gut zu verwenden, wenn man neben dem zu untersuchenden Mineral noch das Gipsplättchen für sich im Gesichtsfeld hat, wenn also z. B. ein Loch im Präparat ist oder die Grenze des Minerals gegen Kanadabalsam vorliegt, so daß man jederzeit die eigentliche Farbe der Gipsplatte zum Vergleich hat und sich nicht auf das Gedächtnis zu verlassen braucht. Nicht brauchbar ist die Methode bei irgendwie gefärbten Mineralien.

b) Während die Wirkungsweise der Gipsplatte auf Einstellung einer bestimmten Farbe beruht, wird bei den folgenden Methoden als Kriterium der richtigen Einstellung die Farbengleichheit verschiedener Teile des Gesichtsfeldes benutzt, wofür das Auge sehr empfindlich ist. Man erreicht dies dadurch, daß ein Plättchen mit einer empfindlichen Farbe zerschnitten wird und die Hälften in gekreuzte Stellung gebracht werden, sodaß bei fehlerhafter Einstellung die Farbe beider Hälften nach den entgegengesetzten Seiten abweicht. Bei der Bravaisschen Doppelplatte ist ein Quarzplättchen vom Rot I. Ordnung auseinandergeschnitten und gekreuzt so zusammengefügt, daß die Fuge genau einem Faden des Fadenkreuzes parallel läuft (s. Abb. 77). Die Doppelplatte befindet sich meist in einem eigenen Okular; natürlich muß dann der Analysator auf das Okular gesetzt werden.

Die Bertrandsche Platte (Abb. 78) befindet sich ebenfalls in einem eigenen Okular. An Stelle des Fadenkreuzes sind vier gleich dicke, etwa 2,5 mm dicke Quarzplatten, die senkrecht zur Achse geschnitten und so zusammengekittet sind, daß sie genau in rechten Winkeln zusammenstoßen. Und zwar stößt immer eine rechtsdrehende Quarzplatte r neben eine linksdrehende Quarzplatte l. (Über die Drehung der Polarisationsebene durch

Quarz s. S. 73). Die senkrecht aufeinander stoßenden Trennungsfugen müssen genau parallel den Nicol-Schwingungsrichtungen verlaufen. Setzt man den Aufsatz-Nicol, der auch hier verwandt werden muß, in gekreuzter Stellung zum Polarisator über das Bertrandsche Okular, so geben die Quarzplatten alle ein bläulich weißes Gesichtsfeld. Schaltet man ein doppelbrechendes Mineralplättchen ein, so sind, wenn die Einstellungen nicht ganz genau sind, je zwei anstoßende Sektoren verschieden gefärbt, und die gegenüberliegenden gleich. Nahe der Dunkelstellung sind zwei gegenüberliegende Sektoren tiefblau, die anderen orangegelb gefärbt, und Farbengleichheit tritt erst dann ein, wenn die Schwingungsrichtungen des Minerals genau mit denen der Nicols übereinstimmen.

Es ist noch zu bemerken, daß nur die Methode der Einstellung auf größte Dunkelheit im weißen und monochromatischen Licht benutzt werden kann, dagegen die übrigen auf der empfindlichen Interferenzfarbe beruhenden Hilfsmittel nur in weißem Licht angewandt werden können.

10. Interferenzfarben. Wie schon erwähnt, bewegen sich die beiden durch Doppelbrechung in einem optisch anisotropen Kristall entstandenen Strahlen mit verschiedener Geschwindigkeit fort und lassen so eine Wegdifferenz zwischen sich entstehen. Beim Austritt aus der Platte laufen die beiden Strahlen mit der erhaltenen Wegdifferenz unabhängig voneinander durch die Luft und interferieren erst miteinander, wenn sie vom Analysator auf dieselbe Polarisationsebene gebracht worden sind. Es wird die Wegdifferenz um so größer sein, je größer die Differenz im numerischen Wert der Geschwindigkeiten der beiden Strahlen ist, und je länger der von ihnen zurückgelegte Weg ist. Wenn α und γ die Brechungsexponenten, welche ja bekanntlich die reziproken Werte der Lichtgeschwindigkeiten sind, der beiden Strahlen darstellen, und wenn d die Strecke ist, welche die beiden Strahlen zurückgelegt haben, d. h. die Dicke der Platte, dann ist die Wegdifferenz $D = d\ (\gamma - \alpha)$. D ist eine in Millimetern oder Millionstel Millimetern ($\mu\mu$) auszudrückende Größe und wird auch Gangunterschied genannt. Für eine gegebene Substanz, wo der Wert $(\gamma - \alpha)$ in einer bestimmten Richtung konstant ist, hängt also der Gangunterschied nur von der Dicke des senkrecht zu jener Richtung geschnittenen Präparates ab. Wenn die Voraussetzung richtig wäre, daß der Wert $(\gamma - \alpha)$ sich nicht mit der Wellenlänge des Lichtes ändert, würden die entstandenen Interferenzerscheinungen genau den Farben dünner Plättchen oder den Newtonschen Farben entsprechen. Es tritt dann nämlich folgendes ein: An jeder Stelle, wo der Gangunterschied gleich einer

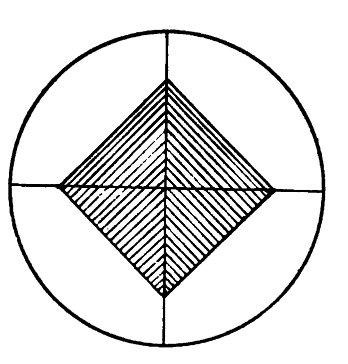


Abb. 77. Bravaissche Doppelplatte.

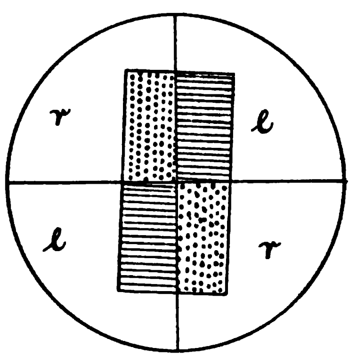


Abb. 78. Ein Kristall nicht ganz in Auslöschungsstellung, mit der Bertrandschen Platte kombiniert. Die gegenüberliegenden Quadranten zeigen noch verschiedene Färbung.

Wellenlänge — oder einem ganzen Vielfachen dieser Wellenlänge ist, löschen sich nach den Gesetzen der Interferenz die beiden Strahlen, die der Farbe von dieser Wellenlänge entsprechen, aus. Die Strahlen anderer Wellenlängen werden sich nur zum Teil schwächen, zum Teil aber verstärken. Am meisten verstärken sich die Strahlen, für die der Gangunterschied an dieser Stelle $\frac{\lambda}{2}$ oder ein ungerades Vielfaches von $\frac{\lambda}{2}$ beträgt. In der entstehenden Mischfarbe wird also die erste Farbe fast ganz fehlen und mit besonderer Lebhaftigkeit die zweite Farbe vorherrschen. Hieraus läßt sich das Verhalten der Platte im einfarbigen Licht entnehmen. Ist die Dicke einer planparallelen Platte im einfarbigen Licht so groß, daß das Produkt aus ihr und der Doppelbrechung in der betreffenden Richtung λ, 2λ, 3λ usw. beträgt, so werden bei der Interferenz sich die beiden Strahlen vollständig vernichten und die Platte erscheint in jeder Stellung dunkel. Haben wir ein keilförmiges Präparat, so wird diese Auslöschung nur an diesen Stellen eintreten, wo der Gangunterschied λ, 2λ, 3λ usw. beträgt,

und der Keil ist von dunklen Streifen durchzogen, zwischen denen helle Räume von der Farbe des verwandten Lichtes erscheinen. Für die Lichtarten, die dem roten Ende des Spektrums näherstehen und die die größere Wellenlänge besitzen, wird auf einer bestimmten Strecke des Keils weniger oft ein ganzes Vielfaches der Wellenlänge erreicht werden, als für kurzwelligeres blaues oder violettes Licht. Im roten Licht liegen deshalb die Streifen weiter auseinander als im blauen Licht. Bei Beleuchtung mit weißem Licht überlagern sich die verschiedenen hellen farbigen Streifen, und es treten die *Interferenzfarben* auf.

Die Art der auftretenden Interferenzfarben hängt von der Größe des Gangunterschieds ab. Folgende Tabelle gibt einen Überblick über die für die verschiedenen Gangunterschiede auftretenden Farben, wie sie ein Keil bei gekreuzten Nicols zeigt:

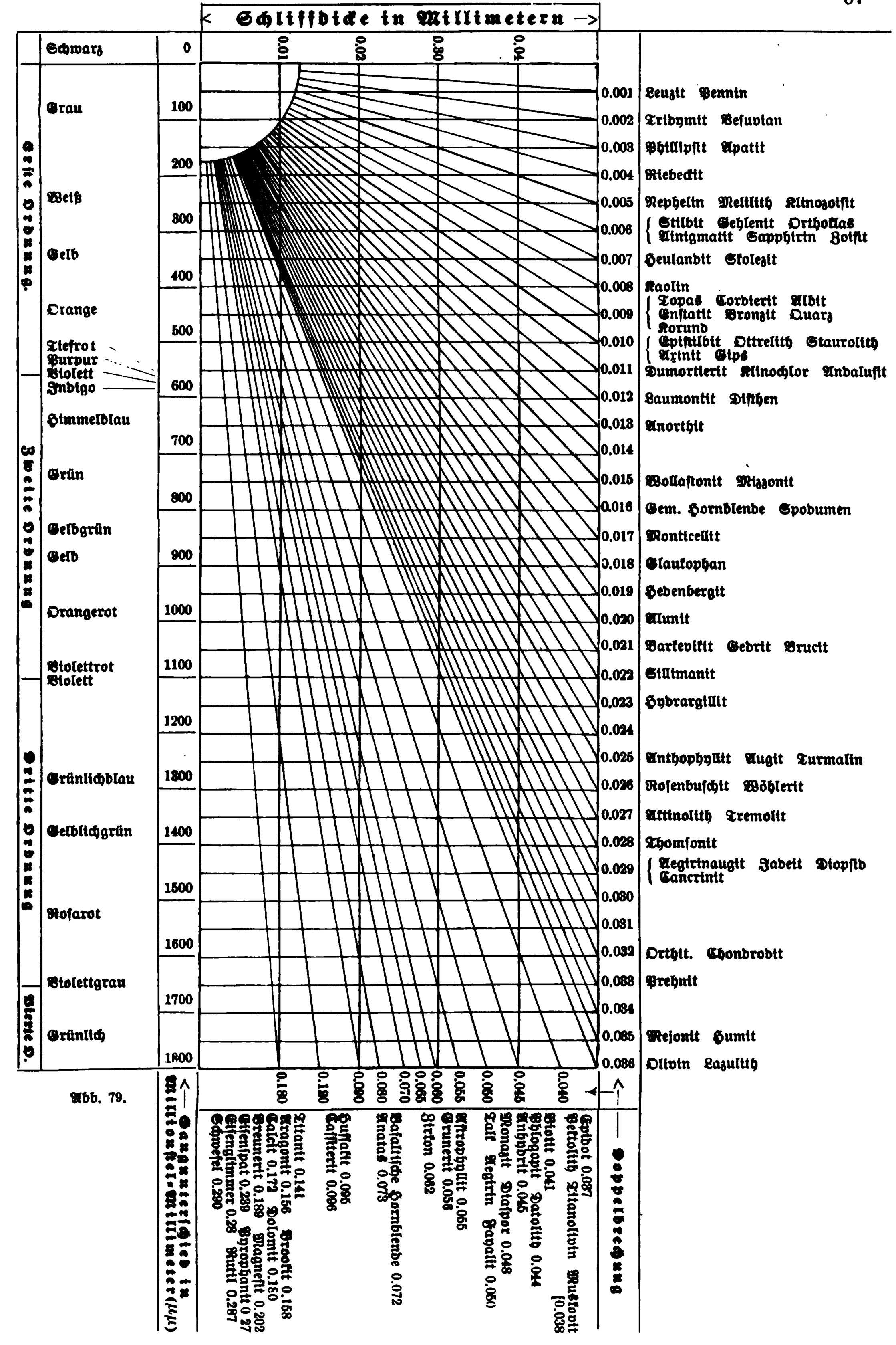
Gangunterschied in $\mu\mu$	Interferenzfarben bei gekreuzten Nicols	Ordnung
0	schwarz	I
100	grau	
250	weiß	
350	gelb	
450	orange	
550	tiefrot	
565	purpur	II
575	violett (teinte sensible)	
590	indigo	
660	himmelblau	
750	grün	
850	gelblichgrün	
900	gelb	
1000	orangerot	
1100	violettrot	
1130	violett	III
1300	grünlichblau	
1400	gelblichgrün	
1500	rosarot	
1650	violettgrau	
1750—1900	grünlich	IV
2050—2200	rötlich	
Um 2400	mattgrünlich	V
Um 2600	mattrötlich	
Um 2900	blaßgrünlich	VI
Um 3200	blaßrosa	
Um 3500	Kaum merklich grünlich	VII
Um 3800	Kaum merklich rosa	
Von etwa 4000 an	weiß höherer Ordnung	von VIII an

So zeigt also ein Plättchen eines optisch anisotropen Kristalles im allgemeinen bei gekreuzten Nicols nicht nur Aufhellung in gewissen Stellungen, sondern das ursprünglich einfallende weiße Licht wird auch bei der Interferenz modifiziert, es treten Interferenzfarben auf, und die ganze Erscheinung bezeichnet man als *chromatische Interferenz*.

Wir sahen, daß diese Interferenzfarben genau den entsprechenden Newtonschen Farben gleichen würden, wenn der Wert $(\gamma - \alpha)$ für alle Wellenlängen konstant wäre. Dies trifft nicht streng zu. Die Mineralien zeigen stets eine *Dispersion der Doppelbrechung*, d. h. der Wert $(\gamma - \alpha)$ ändert sich mit der Wellenlänge des Lichtes. Diese *Dispersion der Doppelbrechung* ist allerdings in den meisten Fällen so gering, daß wesentliche Abweichungen von der Newtonschen Farbenfolge dadurch nur selten hervorgebracht werden. Im Kapitel über Kompensation werden Mittel angegeben, wie man normale Interferenzfarben von anomalen, bei deren Zustandekommen mit einem stärker veränderlichen $(\gamma - \alpha)$ gerechnet werden muß, unterscheidet.

Die Interferenzfarben sind die charakteristischsten Erscheinungen, die ein anisotroper Körper im Polarisationsmikroskop darbietet. Es ist deshalb unbedingt nötig, daß man sie recht genau kennen lernt.

Wie die nebenstehende Tabelle zeigt, wiederholen sich gewisse Farbenqualitäten nach bestimmten Intervallen des Gangunterschieds, wonach man die unterscheidbaren Farben in *Ordnungen* eingeteilt hat. Als Grenze der ersten Ordnung gilt das leuchtende, reine Tiefrot, das einem Gangunterschied von 550 $\mu\mu$ (Millionstel-Millimeter) entspricht. Man bezeichnet es auch als das *Rot I. Ordnung*. Zugleich gibt die Zahl 550 auch das Intervall an, das weitere Ordnungen bestimmt. In der ersten Ordnung treten zuerst graue Töne auf, die um so heller werden, je größer der Gangunterschied wird, bis fast zu einem reinen Weiß, das sofort in rein gelbe, orange und rote Farben übergeht. Das Tiefrot I. Ordnung geht durch eine geringe Zunahme des Gangunterschieds in das Purpur II. Ordnung und das *Violett II. Ordnung* über. Dieses sehr charakteristische Violett ist die sogen. „teinte sensible“, die empfindlichste Farbe der ganzen Skala, weil schon eine Verschiebung um ca. 15 $\mu\mu$ genügt, um es einerseits in rot, andererseits in In-



Schliffdicke in Millimetern
Schwarz
Grau
Weiß
Gelb
Orange
Tiefrot
Purpur
Violett
Indigo
Himmelblau
Grün
Gelbgrün
Gelb
Orangerot
Violettrot
Violett
Grünlichblau
Gelblichgrün
Rosarot
Violettgrau
Grünlich
Erste Ordnung.
Zweite Ordnung
Dritte Ordnung
Vierte O.
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
1100
1200
1300
1400
1500
1600
1700
1800
0.001 Leuzit Pennin
0.002 Tridymit Vesuvian
0.003 Phillipsit Apatit
0.004 Riebeckit
0.005 Nephelin Melilith Klinozoisit
0.006 Stilbit Gehlenit Orthoklas Mikroklin Sapphirin Zoisit
0.007 Heulandit Skolezit
0.008 Kaolin
0.009 Topas Cordierit Albit Enstatit Bronzit Quarz Korund
0.010 Epistilbit Ottrelith Staurolith Axinit Gips
0.011 Dumortierit Klinochlor Andalusit
0.012 Laumontit Disthen
0.013 Anorthit
0.014
0.015 Wollastonit Mizzonit
0.016 Gem. Hornblende Spodumen
0.017 Monticellit
0.018 Glaukophan
0.019 Hedenbergit
0.020 Alunit
0.021 Barkevikit Gedrit Brucit
0.022 Sillimanit
0.023 Hydrargillit
0.024
0.025 Anthophyllit Augit Turmalin
0.026 Rosenbuschit Wöhlerit
0.027 Aktinolith Tremolit
0.028 Thomsonit
0.029 Aegirinaugit Jadeit Diopsid Cancrinit
0.030
0.031
0.032 Orthit. Chondrodit
0.033 Prehnit
0.034
0.035 Mejonit Humit
0.036 Olivin Lazulith
Doppelbrechung
Gangunterschied in Millionstel-Millimeter (μμ)
Epidot 0.037
Pettolith Titanolivin Muskovit 0.038
Biotit 0.041
Phlogopit Datolith 0.044
Anhydrit 0.045
Monazit Diaspor 0.048
Talk Aegirin Fayalit 0.050
Astrophyllit 0.055
Grunerit 0.056
Zirkon 0.062
Basaltische Hornblende 0.072
Anatas 0.073
Hussakit 0.095
Cassiterit 0.096
Titanit 0.141
Aragonit 0.156 Brookit 0.158
Calcit 0.172 Dolomit 0.180
Breunerit 0.189 Magnesit 0.202
Eisenspat 0.239 Pyrophanit 0.27
Eisenglimmer 0.28 Rutil 0.287
Schwefel 0.290

Abb. 79.

digoblau umschlagen zu lassen. Die weiteren Farben der II. Ordnung zeichnen sich alle durch eine prächtige Tiefe und Leuchtkraft aus, die in der III. Ordnung schon nicht mehr vorhanden ist. Von der IV. Ordnung an verschwinden allmählich die gelben und blauen Farben und von da kann man bis zur VII. Ordnung nur noch einen Wechsel von Blaßgrün und Rosa wahrnehmen; von der VIII. Ordnung ab verschwimmen alle durchgelassenen Interferenzfarben zu einem matten perlmutterartigen Weiß, dem Weiß höherer Ordnung.

Zum Studium der Interferenzfarben eignen sich keilförmig geschnittene Platten von Quarz und Gips, die so auf den Tisch des Mikroskopes gelegt werden, daß ihre Hauptschwingungsrichtungen mit denen der Nicols um 45° gekreuzt sind, die Interferenzfarben also am intensivsten erscheinen. Eine ausgezeichnete farbige Reproduktion der ersten drei Ordnungen befindet sich in dem Werk von Rosenbusch-Wülfing. Bd. 1, Teil 1, Tafel 3.

11. Bestimmung der Höhe der Doppelbrechung. Nach Seite 65 ist der Gangunterschied und damit die Höhe der Interferenzfarbe abhängig von der Dicke des Präparates und der Höhe der Doppelbrechung in der betreffenden Richtung. Diese kann somit bei bekannter Dicke direkt aus der Interferenzfarbe bestimmt werden. Man kann bei einiger Übung eine Interferenzfarbe leicht einer Ordnung zuerkennen und kann dann den numerischen Wert des Gangunterschiedes annähernd bestimmen. Die Dicke wird annäherungsweise so ermittelt, wie S. 46 angegeben. Die Beziehungen zwischen Gangunterschied, Dicke und Doppelbrechung sind graphisch in Abb. 79 aufgezeichnet, wo auch zugleich die wichtigsten gesteinsbildenden Mineralien entsprechend dem höchsten Wert ihrer Doppelbrechung angeführt sind (nach Rosenbusch u. Weinschenk).

Ein Beispiel mag den Gang der Untersuchung erläutern. Wir messen die Dicke eines wasserhellen Minerals in einem Dünnschliff zu 0,025 mm mit Hilfe der Methode des Herzogs von Chaulnes. Seine Interferenzfarbe ist ein leuchtendes gelbgrün. Wir gehen dann in Abb. 79 von dem Punkt oben in der Mitte zwischen 0,02 und 0,03, der die Dicke 0,025 bezeichnet, in vertikaler Richtung so weit herunter, bis wir die Ordinate erreichen, worin gelblichgrün der II. Ordnung verzeichnet ist. Von diesem Punkt aus zeigt eine diagonale Linie nach rechts unten zur Doppelbrechung 0,029. Wenn andere Beobachtungen noch dafür sprechen, daß der betr. Durchschnitt des Minerals die höchste Doppelbrechung dieses Minerals überhaupt zeigt, so handelt es sich um Diopsid, dessen andere charakteristische Eigenschaften, wie Form, Spaltbarkeit usw. eine Kontrolle abgeben müssen.

Bei diesem Verfahren wird also die Interferenzfarbe des zu untersuchenden Minerals durch Vergleichen mit den Farben eines Keils oder den Farben der Interferenz-Farbenskala festgestellt. Es gibt kompliziertere Apparate hierfür, die Quarzkeilkomparatoren, die indessen kaum wesentlich bessere Dienste leisten. Denn wie man nicht vergessen darf, die direkte Vergleichung der Interferenzfarben zweier verschiedener Mineralien ist stets mit gewissem Vorbehalt auszuführen. Einmal stört schon eine geringe Eigenfarbe des Minerals sehr. Auch die jeweilig verschiedene Dispersion der Doppelbrechung modifiziert die Interferenzfarben. Infolgedessen begnügt man sich zweckmäßig mit geringerer Genauigkeit und schätzt mit dem Augenmaß die Farbe ab. Da man immer noch andere Bestimmungen ausführt und sich nie mit einer allein begnügt, wird man trotz eines größeren Intervalls, innerhalb dessen die so ermittelte Doppelbrechung fallen kann, mit Hilfe anderer Beobachtungen nur selten zwischen zwei verschiedenen Mineralien schwanken.

12. Höhe der Interferenzfarben bei verschieden orientierten Schliffen. Eine sehr wichtige Frage bei der Bestimmung der Doppelbrechung, die wir bis jetzt noch nicht berührt haben, ist die nach der Lage des betr. Schliffes. Es liege z. B. ein Dünnschliff eines Aggregats desselben Minerals vor, wo die Durchschnitte der einzelnen Individuen zwar überall gleiche Dicke, aber verschiedene Orientierung, d. h. verschiedene Werte der Doppelbrechung $\gamma - \alpha$ besitzen. Daß und wie die Werte der Doppelbrechung mit der Richtung wechseln, kann direkt aus den Abb. 61 und 62 für einachsige und 63 für zweiachsige Körper entnommen werden. Für verschieden orientierte Platten aus demselben Mineral gleicher Dicke ergibt sich: Einachsige Mineralien: die Schnitte parallel zur optischen Achse zeigen die höchste Interferenzfarbe. Diese wird immer niedriger, je größer der Winkel des Schnittes zur Achse wird, bis der Schnitt senkrecht zur Achse, wo die Doppelbrechung = 0 ist, überhaupt keine In-

terferenzfarbe bei gekreuzten Nicols mehr zeigt. Zweiachsige Mineralien: Der Schnitt parallel zur optischen Achsenebene hat die höchste Interferenzfarbe, der Schnitt senkrecht zur ersten Mittellinie hat geringere Interferenzfarbe als der senkrecht zur zweiten Mittellinie. Eine sehr merkwürdige Erscheinung zeigen die Schnitte senkrecht zu einer optischen Achse. Infolge der in diesen Richtungen auftretenden sogen. konischen Refraktion haben sie eine niedrige Interferenzfarbe und behalten diese bei einer vollen Umdrehung bei, werden also nie dunkel.

Man kann die Änderungen der Interferenzfarben in verschiedenen Richtungen an mehreren verschieden geschnittenen Platten studieren, oder auch an einer einzigen Platte in den S. 21 erwähnten Universaltischen. Auch wenn man eine in Diagonalstellung unter dem gewöhnlichen Polarisationsmikroskop befindliche Platte nacheinander mit schiefen Strahlenbündeln beleuchtet, tritt eine Änderung der Interferenzfarbe in Erscheinung. Schon die schiefen Strahlenbündel, die durch die gewöhnliche Kondensorlinse ins Präparat geschickt werden, genügen, um die Änderung der Interferenzfarbe der seitlichen Strahlen in bezug auf den Mittelstrahl zu beobachten. Man sieht diese Änderung beim schiefen Durchsehen, besser durch einen Blendenschieber, einen kleinen Aufsatz auf das Okular mit einem in 2 Schienen beweglichen Schieber, der ein 2 mm breites Loch trägt. Bei optisch einachsigen Mineralien ändert sich die Doppelbrechung im Hauptschnitt sehr stark, senkrecht zum Hauptschnitt nur sehr schwach, und nach beiden Seiten symmetrisch. Zweiachsige Mineralien senkrecht zu einer optischen Symmetrieachse zeigen die symmetrische Ab- oder Zunahme der Doppelbrechung.

Die Regel beim Bestimmen der Doppelbrechung aus der Höhe der Interferenzfarbe ist also, stets die in einem oder mehreren gleich dicken Schliffen vorkommende höchste Interferenzfarbe hierzu zu berücksichtigen, da die Wahrscheinlichkeit dann am größten ist, die maximale Doppelbrechung vor sich zu haben. Gute Dienste bei der Feststellung der Orientierung eines Minerals werden natürlich auch die schon erwähnten Hilfsmittel leisten, die Beobachtung der Spaltbarkeit, der Kristallform, der Auslöschung usw. Auch noch die zu besprechende Beobachtung der Interferenzbilder im konvergenten polarisierten Licht bietet ein gutes Hilfsmittel dar zur genaueren Feststellung der Orientierung.

Manchmal wird man im Zweifel sein, welcher Ordnung eine bestimmte Farbe angehört. Neben der gleich zu behandelnden Methode der Kompensation der Interferenzfarben gibt in diesen Fällen, wo es sich hauptsächlich um höhere Farben von der dritten Ordnung an aufwärts handelt, ein oft vorhandener keilförmiger Rand des Minerals leicht und sicher Aufschluß. Dieser findet sich außer am Rand des Präparates auch oft in der Mitte, z. B. wenn eine gute Spaltbarkeit des Minerals schief zur Schleifebene geht und ein Stückchen beim Schleifen ausgesprungen ist, oder wenn das Mineral selbst mit einer Begrenzungsfläche schief zur Oberfläche des Präparats liegt. Doch ist letzterer Fall mit Vorsicht zu behandeln, wenn das daranstoßende

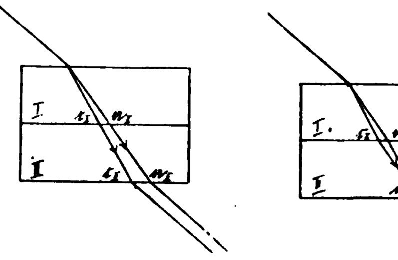


Abb. 80. Addition der Doppelbrechung, wenn gleichwertige Schwingungsrichtungen in I und II parallel liegen.

Abb. 81. Subtraktion (Kompensation) der Doppelbrechung, wenn gleichwertige Schwingungsrichtungen in I und II zu einander senkrecht stehen.

Mineral ebenfalls doppelbrechend ist, weil dann Kompensation der Doppelbrechung eintritt. Bei diesen keilförmigen Rändern zählt man z. B. die roten Streifen und erhält dann sofort die Ordnung der höchsten auftretenden Farbe.

13. Kompensation der Doppelbrechung. Der Gangunterschied und damit die Interferenzfarbe wird größer mit wachsender Dicke. Es ist nun naturgemäß einerlei, ob man zur Erzielung einer doppelt so hohen Interferenzfarbe ein doppelt so dickes Präparat herstellt, oder ob man zwei Präparate der ersten Art so übereinander legt, daß in ihnen dieselben kristallographischen Richtungen einander parallel sind. In diesem Fall wird sich der schnellere Strahl a_I in I, der den kleineren Brechungsindex hat, auch in II als schnellerer Strahl a_{II} fortpflanzen, und die Doppelbrechung in II addiert sich zu der in I (Abb. 80).

Man bezeichnet die Lage zweier Kristallplatten zueinander, in der gleichwertige Schwingungsrichtungen einander parallel liegen, und sich infolgedessen die Doppelbrechungen und die Gangunterschiede der beiden Platten addieren, als Additionslage.

Legen wir umgekehrt die Platten so aufeinander (Abb. 81), daß der schnellere Strahl a_I in der einen Platte sich als der langsamere c_{II} in der anderen Platte fortpflanzt und umgekehrt, daß also gleichwertige Schwingungsrichtungen um 90° gekreuzt zueinander liegen, so findet eine Verminderung des Wertes der Doppelbrechung und somit auch des Gangunterschiedes statt: in dieser Subtraktionslage kompensieren sich Doppelbrechung und Gangunterschied.

Die Kompensation in der Subtraktionslage ergibt den Wert 0 für den schließlich resultierenden Gangunterschied, d. h. es tritt keine Interferenzfarbe auf, wenn der Gangunterschied in I genau denselben Wert hat, wie in II, wie es in Abb. 81 angedeutet ist.

14. Kompensatoren. Diese Erscheinung kann dazu verwandt werden, den Gangunterschied und damit die Interferenzfarbe einer Platte um einen bekannten beliebigen Grad zu erhöhen oder zu erniedrigen. Man verwendet dazu sogen. Kompensatoren, d. h. planparallele oder keilförmige Präparate aus Glimmer, Gips, Quarz oder Kalkspat, die teils einen bekannten unveränderlichen Gangunterschied haben, teils diesen um bekannte Werte zu variieren gestatten. Sie dienen als wichtige Hilfsinstrumente bei der mineralogischen mikroskopischen Technik, zur Erkennung schwacher Doppelbrechung, zur genaueren Bestimmung und Messung der Interferenzfarben und zur Bestimmung des Charakters der Doppelbrechung.

15. Die Erkennung schwacher Doppelbrechung. Sie beruht auf der schon S. 66 erwähnten Erscheinung, daß eine schwache — um ca. 15 μμ — Änderung des Gangunterschieds schon genügt, um das Rot I. Ordnung oder Violett II. Ordnung in gelbliche und bläuliche Farben umschlagen zu lassen. Betrachtet man ein Präparat, das diesen schwachen Gangunterschied zeigt, für sich allein, so wirkt der geringe Unterschied von der schwarzgrauen Interferenzfarbe in den Diagonalstellungen gegenüber der völligen Dunkelheit in den Auslöschungsstellungen fast garnicht aufs Auge. Durch das Einschieben des Gipsplättchens wird der Unterschied markanter gemacht, und man kann so schwach doppelbrechende Substanzen mit größerer Sicherheit von isotropen Substanzen unterscheiden.

Hierher gehört auch die schon S. 64 erwähnte Verwendung des Gipsplättchens zur genaueren Bestimmung der Auslöschungslage.

16. Genauere Bestimmung und Messung von Interferenzfarben und Doppelbrechungen mit Hilfe von Kompensatoren. Eine genauere Bestimmung der Höhe der Interferenzfarben, als es die auf S. 68 beschriebene bloße Vergleichung zuläßt, kann mittels Kompensation erreicht werden. Man benutzt als für die meisten Fälle ausreichend ein Gipsplättchen vom Rot I. Ordnung, das also für sich allein 550 μμ Gangunterschied hervorbringt. Es wird in den Schlitz über dem Objektiv so eingeführt, daß seine Schwingungsrichtungen mit denen der Nicols einen Winkel von 45° bilden. Das zu untersuchende Mineral liegt ebenfalls in der Diagonalstellung auf dem Objekttisch und wird einen um 550 μμ erhöhten oder verminderten Gangunterschied zeigen, je nachdem seine Schwingungsrichtungen mit denen des Gipsplättchens gleichwertig oder gekreuzt liegen. Der zu untersuchende Kristall zeigt z. B. ein Rot, von dem man nicht weiß, ob es das Rot I. oder II. Ordnung ist. Im ersteren Falle muß die Kompensationslage mit dem Gipsplättchen den Gangunterschied 0, also gar keine Interferenzfarbe erzeugen. Die Additionslage muß ein blässeres Rot II. Ordnung ergeben; während, wenn es sich ursprünglich schon um das Rot II. Ordnung gehandelt hätte, dann die Kompensation ein Rot I. Ordnung, die Addition aber ein Rot III. Ordnung ergeben hätte. Ebenso ist der Gang der Überlegung für andere Farben, wobei man die Farbentafel auf S. 66 und 67 zu Hilfe zieht, und zusieht, welcher Farbe jeweilig die Addition oder Subtraktion von 550 μμ Gangunterschied entsprechen müßte.

Ähnliche Effekte bietet das ¼ Undulations-Glimmerplättchen dar, dessen Anwendungsbereich nicht so groß ist, weil es nur einen Gangunterschied von ca. 150 μμ hat, entsprechend dem vierten Teil der Wellenlänge des Natriumlichtes. Es zeigt für sich das Graublau I. Ordnung.

Handelt es sich um die Kompensation größerer Gangunterschiede, so könnte man dickere Plättchen benutzen, meist bedient man sich dann aber eines Quarzkeiles, der ge-

wöhnlich bis zur VI. Ordnung geht. Mit ihm kann dann auch eine genauere Messung des Gangunterschiedes erfolgen, da man die Stelle einstellen kann, wo bei Subtraktionslage gerade Kompensation zu Schwarz oder zu dem empfindlichen Rot I. Ordnung eintritt. Er wird mit einer Teilung versehen, die an jeder Stelle die Dicke ablesen läßt, woraus dann leicht der Gangunterschied berechnet werden kann. Auf demselben Prinzip beruht das Birefraktometer. Hier ist der mit Schraube und Trieb verschiebbare Quarzkeil in einem Okular untergebracht. — Sehr originell ist die Fedorowsche Glimmertreppe, ein Glimmerkeil, bei dem 16 ¼-Und. Glimmerplättchen treppenförmig im Abstand von 2 mm übereinandergeschichtet sind. Man braucht keine Skala, sondern zählt die Anzahl der „Treppenstufen", um den Gangunterschied zu ermitteln.

Das genaueste Instrument zur Messung von Gangunterschieden ist der Babinetsche Kompensator. Er besteht aus zwei übereinanderliegenden Quarzkeilen mit gleichen, sehr spitzen Winkeln, die sich zur planparallelen Platte ergänzen. Die Hauptachsen c_I und c_{II} der beiden Quarze liegen gekreuzt zueinander, wie es in Abb. 82 angedeutet ist. Die des oberen Keiles verläuft senkrecht zur brechenden Kante des Keiles, bei dem unteren Keile parallel dazu. Die ganze Vorrichtung wird in ein eigenes Okular eingesetzt und mit Aufsatznicol benutzt, die Hauptachsen der Quarzkeile bilden je 45° mit den Nicolhauptschnitten, damit bei den eintretenden Interferenzen die maximale Helligkeit erreicht wird. An einer Stelle, die in Abb. 82 mit Pfeilen bezeichnet ist, haben beide Keile gleiche Dicke. Die Doppelbrechung, die ein von unten eintretender Strahl im ersten Keil erleidet, wird also an dieser Stelle im zweiten Keil wieder genau kompensiert, sodaß bei Beleuchtung mit weißem oder homogenem farbigem Licht an dieser Stelle ein schwarzer Streifen im Gesichtsfeld erscheint, der parallel den brechenden Kanten der Keile verläuft. Alle Strahlen rechts und links dieser Linie erleiden in beiden Keilen Gangunterschiede, zwar auch vom umgekehrten Sinne, aber von verschiedener Größe, sodaß nach dem Durchlaufen beider Keile noch ein Gangunterschied übrig bleibt, der nach den Enden der beiden Keile immer größer wird. Im homogenen Lichte erscheinen daher rechts und links von dem mittleren Streifen im gleichen Abstand weitere dunkle Streifen, die den Gangunterschieden λ, 2λ, 3λ usw. entsprechen. Im weißen Licht treten von dem mittleren dunklen Streifen aus nach beiden Seiten die Farben auf, die einfache Keile für sich zeigen würden. Der Kompensator ist nun so eingerichtet, daß der eine Keil mit einer genauen Mikrometerschraube gegen den feststehenden anderen Keil verschoben werden kann. Der obere Keil trägt ein schiefliegendes eingraviertes Kreuz, mit dessen Mittelpunkt in der Null-Lage der mittlere schwarze Streifen zusammenfällt. Beim Drehen des unteren Keiles aus der Null-Lage verschiebt sich auch der schwarze Streifen und mit ihm natürlich alle anderen Streifen; ebenso tritt eine Verschiebung auch ein, wenn eine doppelbrechende Platte in den Strahlengang

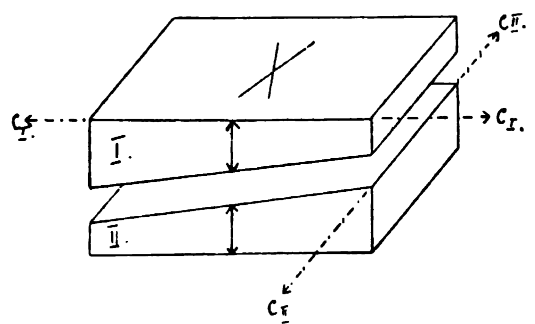


Abb. 82. Babinetscher Kompensator.

zwischen die beiden Nicols eingeschoben wird. Die Messung des Gangunterschiedes dieser doppelbrechenden Platte geschieht folgendermaßen: Erst bestimmt man im homogenen, z. B. in Natriumlicht, die Verschiebung g des Keiles, die bewirkt, daß an Stelle des mittleren schwarzen Streifens der nächstfolgende schwarze Streifen tritt. War die Mikrometerschraube in Millimetern eingeteilt, so bedeutet also g die Verschiebung, die einer Änderung des Gangunterschiedes in der Mitte um λ entspricht. Nun fügt man im weißen Licht die Kristallplatte zu dem wieder auf die Nullstellung gebrachten Kompensator, merkt sich die Stellung des mittleren schwarzen Streifens und verschiebt den Keil bei der erstbenutzten einfarbigen Lichtart solange, bis der mittlere Streifen wieder mit dem Fadenkreuz zusammenfällt. Diese Verschiebung ist der Wert G. Es ist dann $\frac{G}{g}$ gleich dem in Wellenlängen ausgedrückten Gangunterschied D, oder $D = \lambda \cdot \frac{G}{g}$ = der in Millimetern ausgedrückte

Gangunterschied. War d die ebenfalls in Millimetern angegebene Plattendicke, so ist also (nach S. 65) die Doppelbrechung

$$\gamma - \alpha = \lambda \,.\, d \,.\, \frac{G}{g}$$

Die Nachteile des Babinetschen Kompensators sind die Unbequemlichkeiten, die mit der Benutzung eines besonderen Okulars und eines Aufsatznicols verknüpft sind, sowie Unempfindlichkeit zur Erkennung und Messung geringer Gangunterschiede. Diese Nachteile sind vermieden in dem neuen *drehbaren Kalkspatkompensator von M. Berek*[19]). Er befindet sich in einer Fassung zum Einschieben in den Schlitz über dem Objektiv, der auch Gips- und Glimmerplättchen aufnimmt. Die Variierung des durch ihn hervorzubringenden Gangunterschieds geschieht durch Neigen der Kalkspatplatte, die senkrecht zur Achse geschnitten ist, wobei die Lichtstrahlen mit wachsender Neigung immer größere Gangunterschiede erlangen, die bis zur vierten Ordnung gehen. Seine Empfindlichkeit erreicht bei mittleren Gangunterschieden die des Babinetschen Kompensators, und übertrifft sie bei kleinen Gangunterschieden. Er ist auch zur Bestimmung des optischen Charakters im parallelen und konvergenten Licht geeignet. Die billige Konstruktion und leichte, dabei sehr genaue Handhabung dürfte ihm eine weitergehende Anwendung sichern.

17. Die Bestimmung des optischen Charakters der Schwingungsrichtungen (der Hauptzone). Die in einem doppelbrechenden Mineralplättchen entstehenden beiden Strahlen haben verschiedene Geschwindigkeit. Kombiniert man einen Mineraldurchschnitt mit einem der vorhin erwähnten Kompensatoren, in dem die Schwingungsrichtungen der schnelleren und der langsameren Lichtbewegung bekannt sind, so ergibt sich daraus, welche Richtung auch im Präparat der Schwingungsrichtung des schnelleren oder des langsameren Strahles entspricht. Diese Bestimmung der Verteilung der Schwingungsrichtungen im Präparat kann immer ausgeführt werden. Ist in dem zu untersuchenden Präparat eine Hauptzone, d. h. eine Richtung ausgebildet, nach der der Kristall verlängert ist, so ist damit der *Charakter der Hauptzone* bestimmt. Ist diese Hauptzone zugleich auch ihrer kristallographischen Orientierung nach bekannt, so ergibt sich daraus der *wahre Charakter des Minerals*.

Als Kompensatoren werden fast nur das Gipsplättchen von Rot I. Ordnung und der Quarzkeil benutzt. Beide sind meist (nicht immer!) so orientiert, daß die schnellere Welle a parallel der längeren Kante des Plättchens oder des Keiles schwingt. Man stellt das zu untersuchende Mineralplättchen in die Diagonalstellung zu den Nicolhauptschnitten, schiebt den Kompensator in den über dem Objektiv angebrachten Schlitz und sieht zu, ob sich die Interferenzfarbe des Minerals erhöht oder erniedrigt. Im ersten Falle liegen gleichwertige Schwingungsrichtungen in Präparat und Gipsplatte übereinander, im letzteren Fall gegeneinander um 90° gekreuzt. Zweckmäßig dreht man nach jeder Beobachtung das Objekt um 90° herum, wobei die Interferenzfarbe sinken muß, wenn sie zuerst stieg, und umgekehrt. *Ist die Richtung größter Geschwindigkeit a der Hauptzone parallel, so ist der Charakter der Hauptzone negativ und umgekehrt.*

Wenn bei einem optisch einachsigen Kristall die Hauptachse c der Hauptzone entspricht, so stellt der Charakter der Hauptzone den wahren Charakter dar.

In diesem Falle ist die Richtung der optischen Hauptachse c = c beim positiven, und c = a beim negativen Charakter. Der Charakter des Minerals ist entgegengesetzt dem der Hauptzone, wenn das Mineral vorherrschend in einer Richtung senkrecht zur Hauptachse ausgebildet ist.

Somit stellt sich das Schema für die Verteilung des Charakters der Hauptzone und des Minerals bei einachsigen Kristallen wie nebenstehend dar.

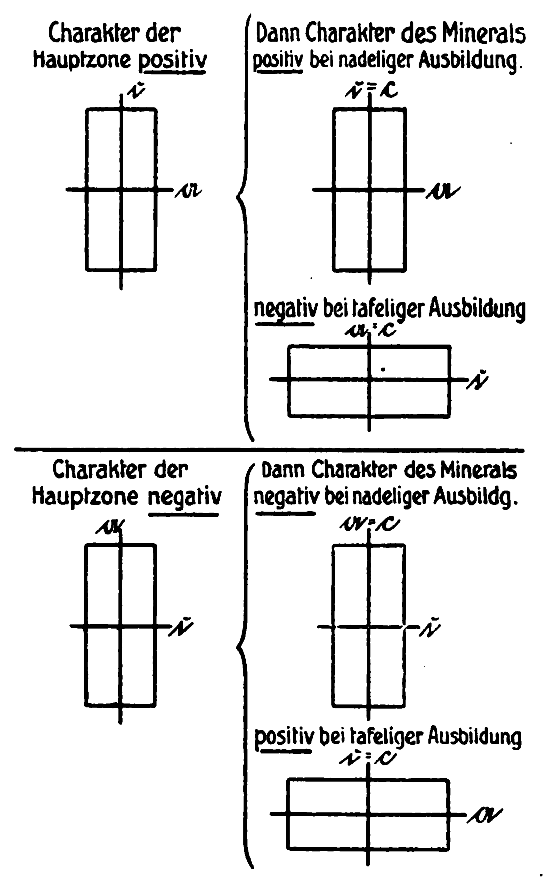
Bei *zweiachsigen Mineralien* kann man im allgemeinen von einem eindeutigen Charakter der Hauptzone nicht mehr reden, da diese in den meisten Fällen in verschiedenen Durchschnitten desselben Kristalls verschieden ist.

Bei unregelmäßig begrenzten Körnern, oder isometrisch ausgebildeten Kristalldurchschnitten kann von einer Hauptzone keine Rede sein. In diesen Fällen kann man bei einachsigen Mineralien die Richtung der Hauptachse c oft mittels der starken Änderung der Interferenzfarben schiefer Strahlen in ihrer Richtung erkennen (s. S. 69).

---

[19]) *M. Berek*: Centralbl. f. Mineralogie, 1913, S. 388 ff.

18. Interferenzerscheinungen optisch aktiver Kristalle im parallelstrahligen polarisierten Licht. Linearpolarisiertes einfarbiges Licht wird in einer Platte eines aktiven Kristalls, die senkrecht zur optischen Achse geschnitten ist, in zwei zirkular polarisierte Schwingungen zerlegt, die sich mit verschiedener Geschwindigkeit fortbewegen, und sich beim Austritt aus der Platte zu einer linear polarisierten Schwingung wieder vereinen, deren Schwingungsebene nun aber gegenüber der des eintretenden Lichtes um einen bestimmten Winkelbetrag gedreht ist. Dieser Winkel ist bei derselben Substanz umso größer, je dicker die Platte und je kleiner die Wellenlänge des verwandten Lichtes ist. Im einfarbigen parallelstrahligen Licht ist eine solche Platte daher bei gekreuzten Nicols in jeder Stellung hell. Erst eine Drehung eines Nicols aus der gekreuzten Lage um einen bestimmten Winkel — den Drehungswinkel — verursacht Dunkelheit der Platte, die dann in jeder Stellung der Platte vorhanden ist. — Da der Drehungswinkel mit abnehmender Wellenlänge sehr stark wächst, so tritt im weißen Licht bei keiner Stellung des Nicols völlige Dunkelheit ein. So beträgt für eine Quarz-Platte von 1 mm Dicke der Drehungswinkel α für Licht von der Wellenlänge λ



$\lambda = 760$	687	656	589	527	486 $\mu\mu$
$\alpha = 12{,}67°$	15,75°	17,32°	21,74°	27,54°	32,77°

$\lambda = 430$	397 $\mu\mu$
$\alpha = 42{,}60°$	51,20°

Wenn im weißen Licht der obere Nicol gedreht wird, so bleibt die Platte stets farbig erhellt. Da bei einer bestimmten Stellung der Nicols zueinander stets nur eine Farbe ausgelöscht wird, zeigt die Platte dann die nunmehr verbleibende Mischfarbe. Die Kristalle, die die Polarisationsebene des Lichtes nach rechts drehen (vgl. S. 58), zeigen dann bei Rechtsdrehung des Analysators eine Farbenfolge von Rot, Gelb, Grün, Blau, Violett. Die linken Kristalle zeigen diese Farbenfolge bei einer Linksdrehung des Analysators.

Diese Farbenerscheinungen werden immer undeutlicher, je dünner die Platte wird, und bei der normalen Dünnschliffdicke von etwa 0,03 mm ist fast gar nichts mehr davon zu sehen, d. h. eine Quarzplatte, senkrecht zur Achse, von dieser Dicke ist bei gekreuzten Nicols fast ganz dunkel. Indessen kann man selbst bei diesen dünnen Quarzplatten, durch Drehung des Analysators aus der 90°-Stellung noch den Drehungssinn des Quarzes feststellen[20]). Bei sehr intensiver Beleuchtung mit weißem Licht werden sie bei gekreuzten Nicols nicht ganz dunkel, sondern Rechtsquarz hat einen rötlichgrauen Farbenton, Linksquarz einen bläulichgrauen. Ersterer zeigt bei Rechtsdrehung des Analysators um wenige Grad einen raschen Übergang von dunkelstahlblau über ein Maximum der Dunkelheit nach bläulichgrau. Letztere zeigen bei Linksdrehung des Analysators um 2—3° rasch eine dunkelstahlblaue Farbe, dann das Maximum an Dunkelheit, und dann ein dunkles Rötlichgrau. Auf diese Art kann noch im Dünnschliff an kleinen Quarzkörnchen, die nahe genug senkrecht zur Achse geschnitten sind, der Sinn der Drehung und eventuelle Zwillingsverwachsungen rechter und linker Quarze, die sonst optisch keine Unterschiede zeigen, festgestellt werden.

[20]) H. Schneiderhöhn, Neues Jahrb. f. Mineralogie 1912, II. 1 ff.

b) Die Beobachtungen im konvergenten polarisierten Licht.

19. Allgemeines. Die konoskopische Beobachtungsmethode im konvergenten polarisierten Licht hat den Zweck, nebeneinander und gleichzeitig die Interferenzerscheinungen zu studieren, die ein optisch anisotropes Objekt in allen Richtungen zeigt, in denen es von den verschiedenen Teilen eines konvergenten Lichtbündels durchsetzt wird. Man bezeichnet diese Interferenzerscheinungen als Interferenzbilder oder Achsenbilder. In ihnen entspricht ein bestimmter Teil nicht einer lokalisierten Stelle des Präparats, sondern einer bestimmten Richtung im Kristall. Deshalb ändert an der Natur des Interferenzbildes eine Parallelverschiebung des Präparates, sofern es homogen ist, nichts, wohl aber eine Drehung des Präparates aus seiner Ebene.

20. Strahlengang im konvergenten Licht. Der Strahlengang im konvergenten Licht ist in Abb. 83 schematisch dargestellt. Zwischen dem Polarisator P und dem Analysator A, die auch hier stets in gekreuzter Stellung angewendet werden, befinden sich zwei Systeme von Linsen, das Kondensorsystem L_1 und das Objektivsystem L_2. L_1 wird von einer entfernten Lichtquelle so beleuchtet, daß das Bild der Lichtquelle ins Präparat K fällt. Jeder Punkt der hinteren Brennebene B_1 von L_1 bildet dann die Spitze eines divergierenden Beleuchtungskegels, der durch L_1 in ein paralleles Strahlenbündel umgewandelt wird. Diese parallelen Bündel durchsetzen das Präparat K in den verschiedensten Richtungen. Jedes Bündel paralleler Strahlen wird durch L_2 in dessen oberer Brennebene B_2 wieder konvergent gemacht. Diese konvergenten Strahlenbündel gehen durch den Analysator und gelangen in das Auge des Beobachters, der also die in B_2 abgebildete Interferenzerscheinung sieht.

Abb. 83. Schema des Strahlengangs in konvergentem Licht.

21. Herrichtung des Polarisations-Mikroskops zur Beobachtung im konvergenten polarisierten Licht. Damit man die Interferenzerscheinungen in möglichst vielen Richtungen auf einmal übersehen kann, müssen die Öffnungswinkel des Kondensors und Objektivsystems möglichst groß sein. Deshalb schaltet man zu diesem Zweck die Kondensorlinse ein oder bei Mikroskopen mit Abbeschem Kondensor bringt man diesen möglichst nahe an das Objekt. Da die mikroskopischen Objektive mit wachsender Stärke im allgemeinen größere Öffnungswinkel besitzen, wird man zu diesen Beobachtungen ein möglichst starkes Objektiv benutzen. Doch ist zu beachten, daß der Öffnungswinkel des Objektivs nur dann voll ausgenutzt werden kann, wenn der des Kondensors gerade so groß ist, und umgekehrt, oder allgemeiner ausgedrückt, beide Systeme müssen dieselbe numerische Apertur haben. Die Verwendung starker Objektive hat auch noch den Vorteil, daß man die Achsenbilder sehr kleiner Objekte studieren kann, da diese bei starker Vergrößerung das Gesichtsfeld voll ausfüllen.

22. Methoden der Beobachtung im konvergenten polarisierten Licht. Die gewöhnliche Anordnung des Mikroskops, Objektiv mit Okular, läßt das Bild des Objektes K auf die Netzhaut fallen. Wir wollen aber die in B_2 entstandene Interferenzerscheinung sehen.

Zu diesem Zweck können drei Beobachtungsmethoden angewandt werden.

1. Beobachtung von B_2 mit bloßem Auge nach Entfernung des Okulars. Man zieht das Okular aus dem Tubus und sieht in diesen hinein. Dabei wird man unten in dem Tubus das sehr kleine aber helle und scharfe Achsenbild sehen, das dieselbe Lage, wie das Objekt hat, also die umgekehrte wie das durch das Okular vermittelte Bild des Objektes (Lasaulxsche Methode).

2. Beobachtung von B_2 in einem Hilfsmikroskop, bestehend aus dem Okular und der Amici-Bertrandschen Linse. Diese Linse wird unter das Okular in den Tubus eingeschaltet (s. S. 11).

Das so entstandene Hilfsmikroskop vergrößert das Achsenbild, macht es freilich auch unschärfer. Zur möglichst scharfen Einstellung ist der obere Teil des Tubus zum Herausziehen eingerichtet.

3. Beobachtung des von B_2 und vom Okular entworfenen Bildes mit bloßem Auge oder mit einer auf das Okular zu setzenden Lupe (Kleinsche Lupe). Das durch das Okular von B_2 entworfene Bild befindet sich im sogen. Okularkreise über dem Okular und kann gesehen werden, wenn man das Auge in eine Entfernung von ca. 25 cm über das Okular bringt,

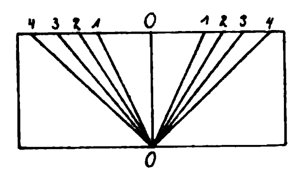
oder wenn man eine Lupe über das Okular hält, die dieses Bild noch schwach vergrößert.

Bei den Methoden 2. und 3. sind die Achsenbilder gegen das Objekt verwendet, also in derselben Lage, wie das mikroskopische Bild des Objektes selbst.

Die einfachste und in den Fällen, wo es sich nicht um eine Ausmessung des Achsenbildes handelt, immer ausreichende Methode ist die direkte Methode 1. (Über Modifikationen der Methoden 2 und 3 zur Ausmessung der Achsenbilder s. S. 83 ff. über Messung der Achsenwinkel.)

23. Isotrope Körper im konvergenten polarisierten Licht. Auch im konvergenten polarisierten Licht sind Platten aus isotropen Körpern in jeder Stellung dunkel und unterscheiden sich dadurch von Platten einachsiger Kristalle senkrecht zur optischen Achse, die im parallelen polarisierten Licht ebenfalls in jeder Stellung dunkel sind, im konvergenten Licht aber das Achsenbild einachsiger Kristalle zeigen.

24. Interferenzerscheinungen einachsiger inaktiver senkrecht zur optischen Achse geschnittener Platten im konvergenten polarisierten Licht. Abb. 84 zeigt einen Durchschnitt durch eine Platte eines einachsigen Kristalls, die senkrecht zur optischen Achse 00 geschnitten ist. 01 bis 04 sind schief auffallende Strahlen des konvergenten Lichtbündels. Wie auf Seite 55 auseinandergesetzt, erleiden die Strahlen, die in Richtung der optischen Achse eines einachsigen Kristalls das Präparat durchsetzen, keine Doppelbrechung. Eine solche Platte bleibt daher auch im senkrecht einfallenden parallelstrahligen Licht bei gekreuzten Nicols in jeder Stellung dunkel. Genau so verhält sich die Platte im konvergenten Licht an der Stelle, wo das Licht sie in Richtung der Hauptachse durchsetzt, also in 00. Hier findet keine Doppelbrechung statt. Das dieser Richtung entsprechende Zentrum des Interferenzbildes ist in jeder Stellung des Präparates dunkel.



bb. 84. Platte eines einachsigen Kristalls senkrecht zur optischen Achse 0 0 in monochromatischem Licht. 1, 02, 03, 04 sind schief auffallende Strahlen des konvergenten Strahlenbündels, wo der Gangunterschied 1, 2, 3, 4 λ beträgt.

Nehmen wir zunächst Beleuchtung der Platte mit einfarbigem Licht an. Nach S. 56 wächst die Doppelbrechung eines einachsigen Minerals mit zunehmendem Winkel der Strahlen gegen die optische Achse. Es werden also die schiefen Strahlen des konvergenten Lichtbündels doppelt gebrochen und verlassen die Platte mit einem Gangunterschied. Bei einer bestimmten Neigung wird das Produkt aus Doppelbrechung in dieser Richtung und durchlaufenem Weg gerade einer ganzen Wellenlänge λ des benutzten einfarbigen Lichtes entsprechen. (01 Abb. 84). Eine Strecke weiter wird der Gangunterschied 2λ, dann 3λ, 4λ sein (02, 03, 04 Abb. 84). An all diesen Stellen werden sich die beiden Strahlen bei der Interferenz auslöschen, sodaß die Platte an diesen Stellen dunkel erscheint. Da alle gegen die Achse 00 gleich geneigten Strahlen auch dieselbe Doppelbrechung und denselben Gangunterschied haben, und da der einfallende Lichtkegel zentrisch symmetrisch zur Achse liegt, so werden den Richtungen λ, 2λ, 3λ, 4λ usw. **konzentrische dunkle Ringe** des Interferenzbildes entsprechen. Zwischen den Ringen verstärken sich die austretenden Strahlen bei der Interferenz und die Zwischenräume erscheinen hell, am hellsten in der Mitte zwischen zwei schwarzen Ringen. Die **Abstände der dunklen Ringe** werden um so größer, je größer die Wellenlänge des angewandten Lichtes ist, — bei rotem Licht treten also die Ringe weiter auseinander als bei violettem Licht —, je geringer die Doppelbrechung des betr. Minerals ist, und je dünner die Kristallplatte ist. Bei dicken Kristallplatten mit hoher Doppelbrechung wird also eine ganze Schar von engen Ringen eng aneinander liegen.

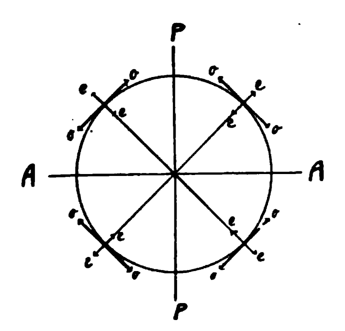


Abb. 85. Schwingungsrichtungen der ordentlichen (o) und außerordentlichen (e) Strahlen in dem Achsenbild eines einachsigen Kristalls.

Nach der früher angeführten Definition liegen die Schwingungsebenen der beiden durch Doppelbrechung entstandenen Strahlen immer senkrecht und parallel zum Hauptschnitt des betr. Kristalls, d. h. zu der Ebene, die durch den einfallenden Strahl und die optische Achse bestimmt ist. Und zwar schwingt der außerordentliche Strahl stets im Hauptschnitt, der ordentliche Strahl senkrecht dazu, sodaß

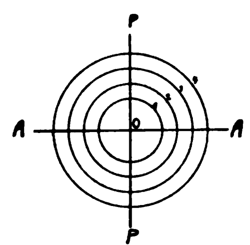


Abb. 86. Schema des Achsenbildes eines einachsigen Kristalls im monochromatischen Licht.

also bei Verwendung des konvergenten Strahlenbündels sich die Schwingungsverhältnisse einer Platte senkrecht zur optischen Achse 0 für Lichtkegel mit gleicher Neigung zur Achse so darstellen werden, wie es Abb. 85 zeigt. Die ordentlichen Strahlen schwingen stets tangential, die außerordentlichen radial. Aus dieser Figur ist auch ersichtlich, wie die Lichtintensität in den verschiedenen Durchmessern der Kreise sich verteilen muß, je nach deren Lage zu den Nicolhauptschnitten A und P. Aus dem Polarisator wird nur Licht parallel P ins Präparat geschickt und in Richtung PP des Interferenzbildes unzerlegt durchgelassen, also am Analysator A total reflektiert, weshalb parallel dem Hauptschnitt des unteren Nicols ein schwarzer Balken in der Interferenzfigur erscheint. Auch parallel A erscheint ein schwarzer Balken, weil diese Komponente zwar von A durchgelassen werden würde, durch P aber überhaupt nicht ins Präparat kommt. Dagegen zerlegt sich die Schwingungsrichtung P in den anderen Richtungen in zwei Komponenten, die beide z. T. vom Analysator durchgelassen werden. Die anderen Teile der Interferenzfigur zeigen daher Aufhellung und zwar haben die aufgehellten Zwischenräume der Ringe die größte Intensität in den Durchmessern, die um 45° gegen die Nicolhauptschnitte geneigt sind, weil da das eintretende polarisierte Licht sich in zwei Komponenten zerlegt, die um 45° gegen A geneigt sind und deshalb vom Analysator mit der größten Intensität durchgelassen werden. Die ganze Interferenzfigur oder das Achsenbild einachsiger Kristalle senkrecht zur optischen Achse im einfarbigen polarisierten Licht besteht demnach aus einem schwarzen Kreuz, dessen Arme den Schwingungsrichtungen der beiden Nicols parallel sind und einer Schar zu dem Mittelpunkt des Kreuzes konzentrischer dunkler Ringe in einem hellen Feld, dessen Farbe gleich der des verwandten Lichtes ist und dessen Intensität in den diagonalen Durchmessern am größten ist und nach beiden Seiten nach den Richtungen der Nicolhauptschnitte hin abnimmt. Abb. 86 zeigt das Achsenbild schematisch; Abb. 87 gibt ein Schaubild nach einer Photographie.

Bei Verwendung weißen Lichtes bleibt das dunkle Kreuz noch bestehen, weil die Nicolhauptschnitte ja für alle Farben dieselben sind. Dagegen geht da, wo z. B. für rotes Licht ein dunkler Ring war, Licht von anderen Wellenlängen durch. Allgemein sind alle die Stellen, wo für eine gewisse Lichtart Dunkelheit herrscht, für andere Lichtarten hell. Es entsteht ein System farbiger Ringe, das vom Mittelpunkt an in radialer Richtung in der Reihenfolge der Farben und der Ordnungen den Newtonschen Farben entspricht, wie sie ein Keil im parallelen polarisierten



Abb. 87. Achsenbild eines inaktiven einachsigen Kristalls (Kalkspat) senkrecht zur optischen Achse im Natriumlicht. (Nach H. Hauswaldt.)

Lichte zeigt. Diese farbigen Ringe werden auch isochromatische Kurven genannt.

Wenn die untersuchte Platte so geschnitten ist, daß ihre optische Achse genau mit der Achse des Mikroskopes zusammenfällt, so bleibt das Achsenbild unverändert bei einer Umdrehung des Tisches und das Zentrum liegt immer im Schnittpunkt der Fäden des Faden-

kreuzes. Steht die optische Achse schief zur Mikroskopachse, so liegt auch das Achsenbild exzentrisch im Gesichtsfeld und die Spur der optischen Achse beschreibt bei einer Umdrehung des Präparates auf dem Objekttisch einen Kreis um den Mittelpunkt des Fadenkreuzes. Dabei bleiben aber die schwarzen Balken stets parallel den Fäden des Fadenkreuzes, d. h. den Schwingungsrichtungen der Nicols, was eine wichtige Unterscheidung schiefer Schnitte einachsiger gegenüber den schiefen Schnitten zweiachsiger Mineralien ist.

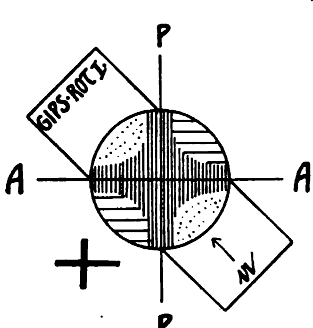


Abb. 88. Positiver Charakter der Doppelbrechung eines einachsigen Minerals, bestimmt im konvergenten polarisierten Licht mit Gips vom Rot I. Ordnung.

Bei dünnen Schnitten schwach doppelbrechender Mineralien kommen die isochromatischen Ringe mit den lebhaften Interferenzfarben nicht mehr in's Gesichtsfeld, sondern dieses wird nur noch von einem breiten schwarzen Kreuz mit verwaschenen Rändern eingenommen, deren diagonale Räume die grauen Farben der ersten Ordnung zeigen.

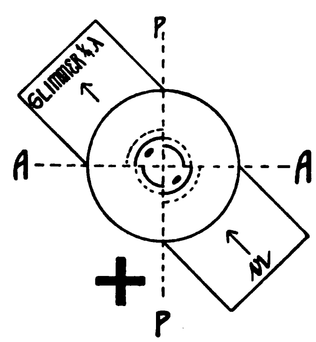


Abb. 90. Positiver Charakter der Doppelbrechung eines einachsigen Minerals, bestimmt im konvergenten polarisierten Licht mit $^1/_4$ Undulations-Glimmerplättchen.

25. Bestimmung des optischen Charakters einachsiger Kristalle im konvergenten polarisierten Licht. Infolge des Umstandes, daß die radialen Richtungen der Interferenzfigur Schwingungsrichtungen des außerordentlichen Strahles, die tangentialen Richtungen dagegen Schwingungsrichtungen des ordentlichen Strahles sind, kann der optische Charakter der betr. Substanz bestimmt werden durch Kombination mit einem der früher besprochenen Kompensatoren.

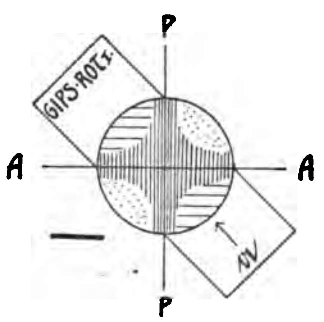


Abb. 89. Negativer Charakter der Doppelbrechung eines einachsigen Minerals, bestimmt im konvergenten polarisierten Licht mit Gips vom Rot I. Ordnung.

M i t d e m G i p s p l a t t v o m R o t I. O r d n u n g. Das Gipsplatt ist, wie S. 72 angegeben, meist so orientiert, daß seine längere Kante parallel zu Schwingungsrichtung a der schnelleren Welle liegt (Abb. 88 und 89). Nach der Definition S. 56 haben in positiven einachsigen Kristallen die außerordentlichen Strahlen größere Brechungsindizes, also geringere Geschwindigkeit, als die ordentlichen Strahlen. Also fallen beim positiven Kristall (Abb. 88)[21]) in den beiden Südwest-Nordost-Quadranten des Achsenbildes die langsamer schwingenden, außerordentlichen Strah-

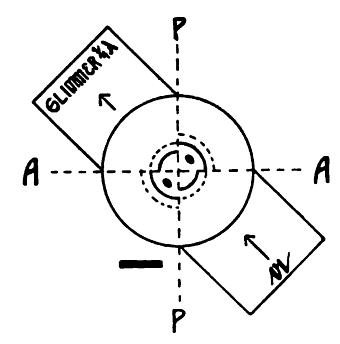


Abb. 91. Negativer Charakter der Doppelbrechung eines einachsigen Minerals, bestimmt im konvergenten polarisierten Licht mit $^1/_4$ Undulations-Glimmerplättchen.

[21]) In Abb. 88 wie in den weitern analogen Abbildungen sind die auftretenden Farben mit der heraldischen Signatur angedeutet, also r o t: senkrecht gestrichelt, b l a u: wagrecht gestrichelt und g e l b: punktiert.

len des Kristalles in dieselbe Richtung, wie die schneller schwingenden Strahlen des Gipsplattes, und es findet in diesen Quadranten eine **Kompensation der Doppelbrechung** statt. Die grauen Interferenzfarben nahe den Balken des Achsenkreuzes subtrahieren sich hier von dem Rot des Gipsplattes, so daß ein Orangegelb I. Ordnung entsteht. In den beiden anderen Quadranten ist es genau umgekehrt. Dort schwindie die schnelleren ordentlichen Strahlen tangential, also parallel den schnelleren Strahlen des Gipsplattes, und es findet Addition des Grau zu Rot I. Ordnung statt, die Interferenzfarbe steigt hier auf Blau II. Ordnung. Die umgekehrte Erscheinung trifft bei einem **negativen Kristall** ein (Fig. 89). Hier ist der ordentliche Strahl langsamer als der außerordentliche.

Man merke sich folgende **Gedächtnisregel** bei der Bestimmung des Charakters: **Die Verbindungslinie der blauen Stellen am Interferenzkreuz gibt mit der Schwingungsrichtung a der Lichtbewegung von größter Geschwindigkeit im Gipsplatt das Vorzeichen der Doppelbrechung an. Bei optisch negativen Kristallen fallen die blauen Stellen in dieselbe Richtung (— —), bei optisch positiven Kristallen stehen sie aufeinander senkrecht (+).**

Das schwarze Kreuz zeigt nach Einschiebung des Gipsplattes natürlich die Interferenzfarbe, die dieses allein zeigt, ist also rot.

Die Anwendung des Gipsplättchens ist in allen Fällen geboten, wo es sich um dünne Präparate schwach doppelbrechender Substanzen handelt, wo also die ohne Gipsplatt grauen Stellen nahe den Balken des Kreuzes, die mit dem Gipsplatt den charakteristischen Farbenumschlag zeigen, eine größere Ausdehnung haben. Wenn dagegen die Doppelbrechung eines Minerals hoch ist, oder wenn dickere Präparate vorliegen, wo also die isochromatischen Ringe sehr nahe aneinanderliegen, dann ist die Farbenänderung nahe den Balken des Kreuzes mit dem Gipsplatt nicht gut zu sehen und man bedient sich zur Bestimmung des Charakters zweckmäßiger des 1/4 **Und. Glimmerplättchens**. Auch hier werden sich die anliegenden Quadranten verschieden verhalten. In den beiden Quadranten, wo gleichartige Schwingungsrichtungen des Interferenzbildes und des Glimmerplättchens zusammenfallen, tritt Addition des Gangunterschiedes ein und zwar um eine Viertelwellenlänge (Abb. 90 und 91). Eine bestimmte Interferenzfarbe der isochromatischen Ringe wird schon eine Strecke vorher erreicht sein, es sieht so aus, als ob gegenüber dem ursprünglichen Achsenbild die Ringe eine Verengerung erfahren hätten. In den beiden anderen Quadranten wird der Gangunterschied kompensiert. Hier wird eine bestimmte Interferenzfarbe erst um eine Strecke weiter nach außen erreicht, es sieht so aus, als ob die Ringe erweitert worden wären. Wo in diesen Quadranten zwischen den Balken der ursprüngliche Gangunterschied 1/4 Wellenlänge war, muß er hier auf 0 kompensiert werden und an diesen Stellen erscheint dann je ein dunkler Punkt. Das schwarze Kreuz und somit auch die Mitte des Interferenzbildes erscheint in derselben Farbe, wie das Glimmerplättchen, also Graublau I. Ordnung. Die Glimmerplättchen sind wieder zweckmäßig so orientiert, daß die längere Kante der Richtung größter Lichtgeschwindigkeit a entspricht. **Die Lage der schwarzen Punkte ist bei negativen Kristallen gekreuzt zu a, bei positiven Kristallen parallel a des Glimmerplättchens.**

26. Interferenzerscheinungen einachsiger aktiver senkrecht zur optischen Achse geschnittener Platten im konvergenten polarisierten Licht. Im einfarbigen Licht ist der Mittelpunkt des Interferenzbildes hell, erst vom ersten Ring an beginnen die schwarzen Balken. Im weißen Licht zeigt das helle Mittelfeld dieselbe Farbe, die die ganze Platte im parallelen polarisierten Licht hatte (Abb. 92). Bei Drehung des Analysators zerfällt im einfarbigen Licht jeder dunkle Ring oder im weißen Licht jeder isochromatische Ring in vier Bogenstücke, die sich **erweitern**, wenn der Sinn der Analysatordrehung und des Drehungsvermögens der Platte derselbe ist. Bei entgegengesetztem Drehungssinn verengern sich diese Bogenstücke. — Das helle Mittelfeld gibt im weißen Licht bei Drehung des Analysators dieselbe Farbenfolge, die die ganze Platte im parallelen polarisierten Licht bei der entsprechenden Analysatordrehung zeigt. Dies sowie die Erweiterung resp. Verengerung der Ringe kann benutzt werden, um auch im konvergenten Licht den Sinn des Drehungsvermögens der Platte zu ermitteln.

27. Interferenzerscheinungen zweiachsiger inaktiver Kristalle im konvergenten polarisierten Licht. Die Erscheinungen sind bei zweiachsigen Kristallen wesentlich komplizierter, so daß ihre Ableitung selbst in der Art wie sie hier für einachsige Kristalle gegeben wurde, viel zu weit führen würde. Es seien deshalb nur die auftretenden Erscheinungen beschrieben und im übrigen auf ihre Ableitung in den Lehrbüchern von Th. *Liebisch*, *E. A. Wülfing* u. a. verwiesen.

Platten senkrecht zu einer optischen Achse. Die immer vorhandene Dispersion der optischen Achse für verschiedene Farben, die auf der Dispersion der Brechungs-



Abb. 92. Achsenbild eines aktiven einachsigen Kristalls (Quarz) senkrecht zur optischen Achse im Natriumlicht. (Nach H. Hauswaldt.)

indizes beruht, sei zunächst außer Acht gelassen (s. S. 66). Das Interferenzbild ähnelt dem eines einachsigen Kristalls (Abb. 93). Es tritt aber nur ein schwarzer Balken auf und die isochromatischen Kurven sind nicht mehr Kreise, sondern Ovale. Beim Drehen des Präparates in der Ebene des Objekttisches drehen sich im Gegensatz zu einachsigen Achsenbildern der schwarze Balken und die Ringe mit, aber in entgegengesetzter Richtung, wie das Präparat gedreht wird.

Platten senkrecht zur spitzen Mittellinie. Hierbei sind zwei Stellungen der Platte zu unterscheiden:

Die *Normalstellung*, d. h. die Stellung der Platte, wo die Ebene der optischen Achse mit dem Hauptschnitt eines der beiden Nicols zusammenfällt. In diesem Falle liegt ein scharf begrenzter, schmälerer, schwarzer Balken parallel der Achsenebene, also auch parallel dem einen Nicolhauptschnitt, senkrecht dazu liegt ein breiter, verwaschener, schwarzer Balken. Symmetrisch zu diesen beiden Balken liegen die isochromatischen Kurven, die sich um die Achsenaustrittspunkte gruppieren, derart, daß die Innenkurven geschlossene Ovale um jede Achse bilden; dann kommt eine Achterfigur, während die äußeren Ringe lemniskatenähnliche Formen besitzen. Abb. 94 gibt das Schema dieser isochromatischen Kurve oder Kurven gleichen Gangunterschieds. Die ganze Erscheinung stellt die Photographie Abb. 95 dar.

Dreht man die Platte aus der Normalstellung heraus bis die Achsenebene mit den Hauptschnitten der Nicols einen Winkel von 45° bildet, so erhält man die sogen. *Diagonalstellung*. Hierbei bleiben die Kurven gleichen Gangunterschieds in ihrer Gestalt bestehen, drehen sich aber mit der Platte, das schwarze Kreuz öffnet sich in der Mitte und je zwei aneinanderliegende Balken vereinigen

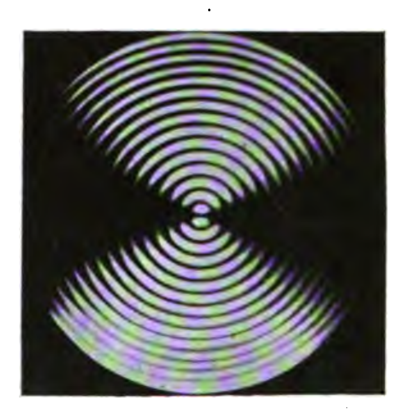


Abb. 93. Achsenbild eines zweiachsigen Kristalls (Andalusit) senkrecht zu einer optischen Achse im Natriumlicht. (Nach H. Hauswaldt.)

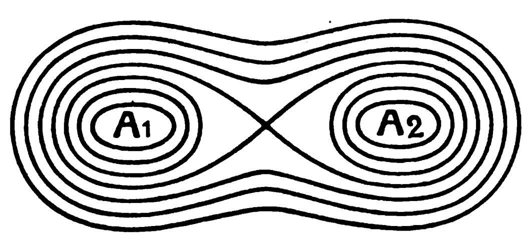


Abb. 94. Kurven gleichen Gangunterschieds eines zweiachsigen Kristalls im Achsenbild.

sich und bilden in der Diagonalstellung eine *Hyperbel*, deren Scheitelpunkt der Achsenaustrittspunkt ist (s. Abb. 96).

Platten senkrecht zur stumpfen Mittellinie lassen die Achsenaustrittspunkte nicht mehr erkennen. Die Mitte des

Gesichtsfelds ist wieder von lemniskatenähnlichen isochromatischen Kurven eingenommen.

Wenn der wahre Winkel der optischen Achsen 2V nahe 90° ist, kann eine Unterscheidung, ob die spitze oder die stumpfe Bisektrix vorliegt, unter dem Mikroskop sehr schwierig werden. In diesen Fällen hilft nur genaue Messung des Achsenwinkels, am besten mit einem Achsenwinkelapparat.

28. Interferenzerscheinungen zweiachsiger aktiver Kristalle im konvergenten polarisierten Licht. Aktive zweiachsige Kristalle kommen sehr selten vor, und sind bis jetzt nur von künstlichen Produkten bekannt (Bittersalz, Weinsäure usw.). Noch seltener gelingt es, die Drehung der Polarisationsebene wirklich optisch nachweisen zu können. Die Interferenzerscheinungen im konvergenten polarisierten Licht seien daher nur der Vollständigkeit halber erwähnt. — Die Drehung der Polarisationsebene ist in Schnitten senkrecht zu einer Achse zu bemerken, und äußert sich hier analog den einachsigen Kristallen darin, daß der eine schwarze Balken in der Mitte des Achsenbildes ausfällt, und dort eine Interferenzfarbe auftritt. Drehung des Analysators erzeugt analoge Erscheinungen wie bei einachsigen aktiven Kristallen.

29. Dispersion der Brechungsexponenten und der optischen Symmetrieachsen. Bei den einachsigen Kristallen ist stets die optische Achse Symmetrieachse, d. h. sie liegt für alle Farben an derselben Stelle. Anders die optischen Achsen zweiachsiger Medien. Sie sind nie Symmetrieachsen und stets ist die Lage der optischen Achsen zweiachsiger Kristalle abhängig von der Farbe, woraus dann auch die Veränderlichkeit des Winkels der optischen Achsen mit der Farbe sich ergibt.

Ob die optischen Symmetrieachsen, — die beiden Mittellinien und die optische Normale —, dispergiert sind, hängt von allgemeinen Symmetrieeigenschaften der betr. Kristallklasse und von der Lage der optischen Achsenebene innerhalb des Kristalles ab.

Im rhombischen System sind die drei optischen Symmetrieachsen wirkliche kristallographische Symmetrieachsen, sie liegen daher für alle Farben an derselben Stelle und sind nie dispergiert. Ein rhombischer Kristall zeigt infolge der allein möglichen Dispersion der Brechungsexponenten nur die sogen. Dispersion der optischen Achsen oder die rhombische Dispersion.

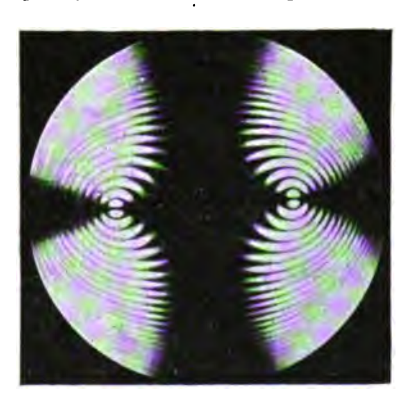


Abb. 95. Achsenbild eines optisch zweiachsigen Kristalls (Aragonit) senkrecht zur ersten Mittellinie im Natriumlicht. Normalstellung. (Nach H. Hauswaldt.)

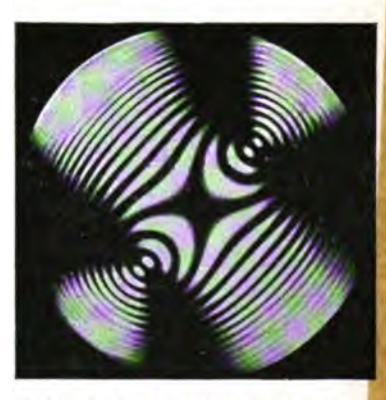


Abb. 96. Achsenbild eines optisch zweiachsigen Kristalls (Aragonit) senkrecht zur ersten Mittellinie im Natriumlicht. Diagonalstellung. (Nach H. Hauswaldt.)

Im monoklinen System ist nur noch eine wirkliche kristallographische Symmetrieachse vorhanden, mit der eine der Mittellinien oder die optische Normale zusammenfällt. Diese ist dann nie dispergiert, wohl aber die beiden anderen optischen Symmetrieachsen. Es müssen je nach der Orientierung der ersten Mittellinie und der Lage der Achsenebene drei Fälle unterschieden werden: Geneigte, horizontale und gekreuzte Dispersion.

Im triklinen System ist keine Richtung mehr kristallographische Symmetrieachse, die optischen Symmetrieachsen und die optischen Achsen haben stets von der Farbe abhängige, verschiedene Lagen.

30. Dispersion der optischen Achsen bei rhombischen Kristallen oder rhombische Dispersion. Die optische Achsenebene, sowie die zwei auf ihr senkrecht stehenden

Ebenen, welche die drei Symmetrieachsen in sich enthalten, sind kristallographische Symmetrieebenen. Deshalb sind die Interferenzbilder senkrecht zu den beiden Mittellinien (wie auch das zur Normalen) im einfarbigen wie im weißen Licht nach zwei aufeinander senkrecht stehenden Ebenen symmetrisch. Die optischen Achsen zeigen Dispersion, die Achsenaustrittspunkte für verschiedene Farben liegen in derselben Symmetrieebene $S_1 S_1$ und in ihrer Gesamtheit symmetrisch zu der darauf senkrechten Symmetrieebene $S_2 S_2$ (Abb. 97—100). Es sind zwei Arten der Achsendispersion zu unterscheiden: Es kann der spitze Winkel der optischen Achsen für rotes Licht kleiner oder größer sein, als für violettes Licht. Die Dispersion der betreffenden Substanzen wird im ersten Falle als $R < V$ (Abb. 97) im letzteren Falle als $R > V$ (Abb. 99) bezeichnet. In Abb. 98 und 100 sind auch die Erscheinungen schematisch für die Diagonalstellung der Interferenzbilder gezeichnet. Bei R ist im Interferenzbild die schwarze Hyperbel für rotes Licht, bei V die für violettes Licht, dazwischen liegen die für die anderen Farben. An der Stelle, wo bei der Beleuchtung mit einer bestimmten farbigen Lichtart eine dunkle Hyperbel liegt, tritt im weißen Licht eine Interferenzfarbe auf, in der jene Lichtart vollkommen fehlt. Es tritt also bei R, wo kein rotes Licht austritt, ein bläulicher Farbenton auf, während bei V, wo kein violettes Licht austritt, ein rötlicher Ton herrscht. Es sind somit für den Fall der Dispersion $R < V$ bei Beleuchtung mit weißem Licht die Hyperbeln an der konvexen oder inneren Seite blau, an der konkaven oder äußeren Seite rot gesäumt. Das umgekehrte

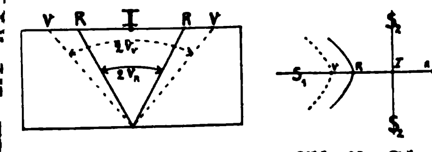


Abb. 97. Dispersion der optischen Achsen in einem rhombischen Kristall R < V.

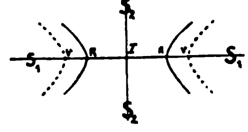


Abb. 98. Schematisches Achsenbild eines rhombischen Kristalls mit Achsendispersion R < V.

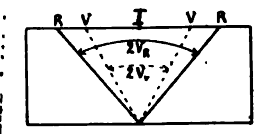


Abb. 99. Dispersion der optischen Achsen in einem rhombischen Kristall R > V.

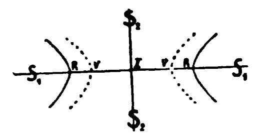


Abb. 100. Schematisches Achsenbild eines rhombischen Kristalls mit Achsendispersion R > V.

findet für die Dispersion $R > V$ statt, oder mit anderen Worten, **der Achsenwinkel ist für diejenige Farbe kleiner, welche in der Diagonalstellung die konkave Seite der Hyperbeln säumt.** Ähnliche Erscheinungen, nur schwächer, zeigen die ersten isochromatischen Ringe, die dann nicht mehr der reinen Newtonschen Farbenfolge entsprechen.

31. Geneigte Dispersion. Sie kann nur bei monoklinen Kristallen vorkommen, denn bei ihr ändert sich außer der Lage der optischen Achsen auch die Lage der beiden Mittellinien mit der Farbe des verwandten Lichtes. Die Achsenebene fällt für alle Farben in die kristallographische Symmetrieebene und die optische Normale fällt mit der einen kristallographischen Symmetrieachse des monoklinen Systems, mit der Querachse, zusammen, sie hat somit für alle Farben dieselbe Lage. Abb. 101 zeigt einen Längsschnitt eines monoklinen Kristalls parallel der Symmetrieebene = Achsenebene SS. Senkrecht SS ist für alle Farben die optische Normale N. In dem Bereich IV bis IR liegen die ersten Mittellinien, in IIV bis IIR die zweiten Mittellinien. Nach den angenommenen Verhältnissen (die

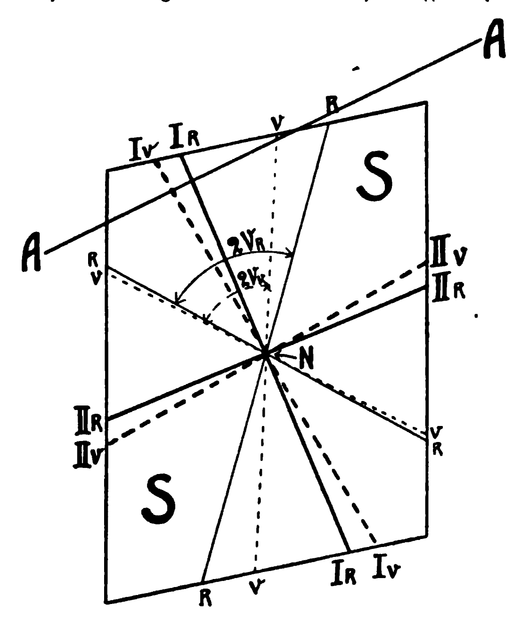


Abb. 101. Schnitt parallel der Achsenebene = Symmetrieebene eines monoklinen Kristalls mit geneigter Dispersion.

z. B. beim Diopsid verwirklicht sind), ist die eine Achse, die auf der oberen Fläche austritt, sehr stark dispergiert, die andere auf den seitlichen Flächen aber nur sehr schwach. Eine

Platte in Richtung AA geschnitten und im konvergenten polarisierten, weißen Lichte betrachtet, zeigt in der Diagonalstellung ein Bild, wie es Abb. 102 schematisch andeutet. Die eine Hyperbel ist mit breiten farbigen Rändern umsäumt, die konkave oder innere Seite blau, die konvexe oder äußere Seite rot. Die andere Hyperbel ist ganz schwach dispergiert, die kon-

Abb. 102. Schematisches Achsenbild eines monoklinen Kristalls mit geneigter Dispersion.

vexe innere Seite rötlich, die konkave äußere Seite bläulich. Die Dispersion der Mittellinien verursacht hier noch stärkere Abweichung der isochromatischen Kurven von der Newtonschen Farbenfolge wie bei der rhombischen Dispersion. Die Farbenfolge der Ringe um eine Achse ist eine andere als die um die andere Achse, aber streng symmetrisch verteilt nach SS, wie das ganze Interferenzbild.

32. Horizontale und gekreuzte Dispersion. Die kristallographische Symmetrieachse fällt für alle Farben mit einer Mittellinie zusammen, so daß die Achsenebene oder richtiger gesagt die Achsenebenen senkrecht

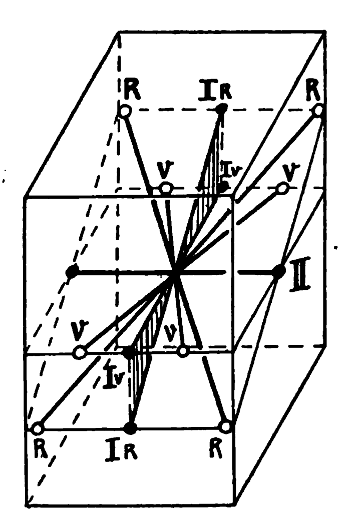


Abb. 103. Perspektivisches Bild eines monoklinen Kristalls mit horizontaler Dispersion der ersten Mittellinien I_v—I_R, und gekreuzter Dispersion der zweiten Mittellinie II.

auf der kristallographischen Symmetrieebene stehen. Die schematische Verteilung der Achsen und Mittellinien zeigt Abbildung 103. Die zweite Mittellinie II ist für alle Farben gleich der kristallographischen Symmetrieachse. Die ersten Mittellinien IR bis IV liegen in der Symmetrieebene. Die Achsenebenen für sämtliche Farben schneiden sich in der zweiten Mittellinie.

Das schematische Interferenzbild der ersten Mittellinie zeigt Abb. 104. Es ist symmetrisch nach SS, aber unsymmetrisch in bezug auf die Achsenebenen, deren es für jede Farbe eine besondere gibt, die alle untereinander parallel sind.

Die Hyperbeln sind oben an der konkaven und unten an der konvexen Seite je gleich gefärbt. Die Dispersion dieses Interferenzbildes wird als horizontale Dispersion bezeichnet.

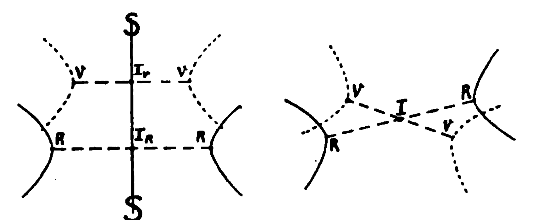


Abb. 104. Schematisches Achsenbild eines monoklinen Kristalls mit horizontaler Dispersion.

Abb. 105. Schematisches Achsenbild eines monoklinen oder triklinen Kristalls mit gekreuzter Dispersion.

Wenn die erste Mittellinie mit der Symmetrieachse zusammenfällt, dann ergibt sich ein Bild, wie es schematisch in Abb. 105 angedeutet ist. Das Bild ist nur noch zentrisch symmetrisch, d. h. die Achsenebenen für die verschiedenen Farben durchkreuzen sich alle in I. Gleiche Färbung der Hyperbeln tritt z. B. oben rechts und unten links auf. Dies ist die gekreuzte Dispersion.

Horizontale und gekreuzte Dispersion treten stets zusammen auf. Ist die erste Mittellinie horizontal dispergiert, wie in Abb. 103, so ist die zweite Mittellinie gekreuzt dispergiert. Man redet in diesem Falle bei den betreffenden Kristallen von horizontaler Dispersion. Ist umgekehrt die erste Mittellinie gleich der kristallographischen Symmetrieachse, so ist sie gekreuzt dispergiert und die zweite Mittellinie zeigt horizontale Dispersion. Dann legt man dem ganzen Kristall gekreuzte Dispersion bei.

33. Trikline Dispersion. Die drei optischen Symmetrieachsen und die beiden optischen Achsen sind dispergiert. Die Verteilung der Farben in den Interferenzbildern ist eine ganz unsymmetrische.

34. Erkennbarkeit der Dispersion im Mikroskop. Im allgemeinen wird eine gut ausgeprägte Dispersion nicht häufig im Mikroskop zu beobachten sein, zumal ja bei vielen Substanzen die Unterschiede für die verschiedenen Lichtarten nur gering sind und auch bei so dünnen Präparaten, wie sie die Dünnschliffe darstellen, kaum in Erscheinung treten. Deshalb spricht zwar das Vorhandensein einer monoklinen Dispersion stets für einen monoklinen Kristall. Nicht aber darf man aus dem Fehlen resp. dem Nicht-in-Erscheinungtreten einer solchen gleich den Schluß ziehen, als läge ein rhombischer Kristall vor.

Wichtigkeit erlangt die genaue Messung der Dispersion dagegen im Achsenwinkelapparat in Verbindung mit Monochromator.

35. Einachsigkeit zweiachsiger Kristalle für eine bestimmte Farbe oder Temperatur. Bei manchen rhombischen Kristallen, z. B. Brookit (TiO_2) kommt es vor, daß der Achsenwinkel von Rot an mit sinkender Wellenlänge immer kleiner wird, bei einer mittleren Farbe, z. B. Gelb gleich 0 ist, um dann im Grün, Blau, Violett sich zu vergrößern, aber nun in einer zur roten Achsenebene senkrechten Ebene. — Ebenso wirkt eine Temperaturerhöhung z. B. auf Orthoklas so ein, daß die anfänglich horizontale Dispersion für verschiedene Farben nacheinander in geneigte Dispersion übergeht, wobei für eine Farbe nach der anderen der Achsenwinkel den Wert 0 durchläuft.

Es besteht aber der scharfe Unterschied zweiachsiger Kristalle gegenüber den einachsigen in diesen Fällen darin, daß die Einachsigkeit bei zweiachsigen Kristallen immer nur für eine bestimmte Farbe eintreten kann, nicht wie dies bei einachsigen immer der Fall, für alle Farben gleichzeitig.

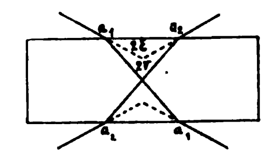


Abb. 106. Wirklicher Achsenwinkel 2 V. Scheinbarer Achsenwinkel 2 E.

36. Scheinbarer und wahrer Winkel der optischen Achsen. Die Entfernung der Achsenaustrittspunkte der optischen Achsen in den Achsenbildern zweiachsiger Kristalle besonders in der Diagonalstellung ist abhängig von der Größe des Winkels der optischen Achse, die eine für eine Substanz charakteristische Größe ist. Die Richtungen $a_1 a_1 — a_2 a_2$ (Abb. 106), schließen innerhalb des Kristalles den wahren Winkel der optischen Achsen ein. Die Lichtstrahlen, die sich in diesen Richtungen fortpflanzen, erleiden aber beim Aus-

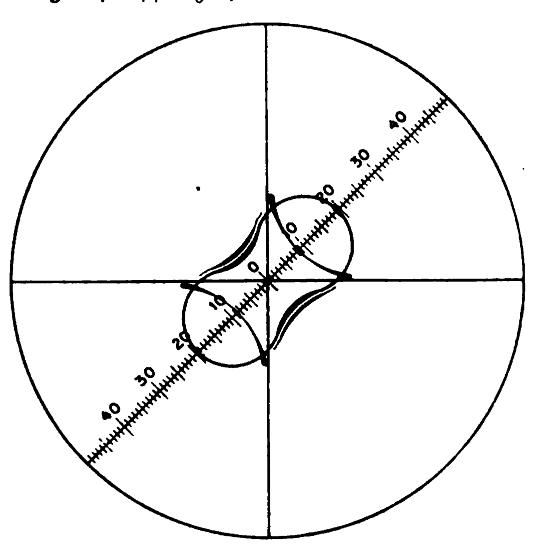


Abb. 107. Gesichtsfeld des Mikrometer-Okulars: Mikrometer in Diagonalstellung zur Ausmessung des scheinbaren Winkels der optischen Achsen zweiachsiger Mineralien.

tritt aus dem Kristall in Luft eine Ablenkung und zwar vom Einfallslot weg, die um so größer ist, je größer der Winkel 2 V ist und je größer der mittlere Brechungsindex des Kristalles ist. Diese in Luft sich fortpflanzenden Strahlen schließen einen Winkel 2 E ein, der nun im Achsenbild als Winkel der optischen Achsen erscheint. Man nennt 2 E den *scheinbaren Winkel* der optischen Achsen. Er ist es, den wir im Mikroskop messen, von seiner Größe hängt die Entfernung der beiden Austrittspunkte in der Interferenzfigur ab. Ist er sehr klein, dann ähnelt das Achsenbild dem Achsenbild eines einachsigen Kristalles. Ist er sehr groß, so tritt bei einem Schnitt senkrecht zur ersten Mittellinie keine Achse mehr ins Gesichtsfeld. Man kann sich in diesem Falle dadurch helfen, daß man Immersionssysteme anwendet und die Achsen aus dem Kristall nicht in Luft, sondern in Öl von möglichst demselben Brechungsindex übertreten läßt, wodurch 2 E um eine Größe verringert wird, die gleich der Differenz der Brechungsindizes Öl — Luft ist.

37. Messung des Winkels der optischen Achsen unter dem Mikroskop. Aus dem scheinbaren Winkel der optischen Achsen

2E berechnet sich der wahre Winkel 2V durch die Gleichung $\sin V = \frac{\sin E}{\beta}$, wo β den mittleren Brechungsindex des Kristalles darstellt. Man führt die Winkelmessung zunächst auf die Messung der linearen Größe der Entfernung der beiden Achsenaustrittspunkte zurück, unter Benutzung des Satzes von Mallard: $\sin E = d \cdot K$. Hierbei bedeutet d die Anzahl der Teilstriche eines Mikrometers, die zwischen den Hyperbelpolen sich befinden. Das Mikrometer kann an irgend einer Stelle des Beobachtungssystemes angebracht sein. K ist eine für das betr. Objekt zu bestimmende Konstante. Man beobachtet mit Mikrometerokular und Amici-Bertrandscher Linse. Da es sich bei der Mallardschen Formel um eine Sinus-Formel handelt, kann man sich zur Berechnung von 2 E einer nach dem Prinzip des logarithmischen Rechenschiebers eingerichteten graphischen Bestimmungsmethode bedienen, der Schwarzmannschen Achsenwinkelskala. Sie wird zumeist den Mikroskopen beigegeben und muß vor Gebrauch für eine bestimmte Kombination von Objektiv und Okular eingerichtet werden.

Als Kontroll- und Einstellungs-Mineral kann z. B. ein Glimmerplättchen, dessen Achsenwinkel genau vermerkt ist, dienen, oder irgend ein anderes senkrecht zur ersten Mittellinie geschnittenes zweiachsiges Mineral, dessen 2E genau bekannt ist, z. B. Aragonit, Baryt u. dgl. Für den Besitzer eines Mikroskopes bietet es keine Schwierigkeit, sich die Schwarzmannsche Skala selbst gebrauchsfertig herzurichten. Die Teilung B der Mikrometerwerte (0,1—100) ist bereits auf dem Skalenkarton befestigt, während die Teilung 2 E der Winkelwerte (30′ bis 180°) selbst aufzukleben ist. Man bestimmt hierzu an einem Mineral mit bekanntem Achsenwinkel die Anzahl der Intervalle des Okular-Mikrometers, die zwischen den Hyperbelscheiteln der Interferenzfigur liegen (Abb. 107) und klebt nun die Skala der Winkel 2 E derart unter die bereits feste Teilung D, daß der den bekannten Winkel 2 E angebende Teilstrich mit dem zugehörigen Teilstrich von D zusammenfällt. In Abb. 108 sind die Skalen verkleinert und verkürzt wiedergegeben, ihre wirkliche Länge beträgt etwa 30 cm; jede Skala beginnt mit 0. Liegen also z. B., wie Abb. 108 zeigt, zwischen den beiden Hyperbelscheiteln h und h′ 39 Intervalle, und der scheinbare und bekannte Achsenwinkel des benützten Minerals betrage 70°, so bringt man den Strich 70 der Schwarzmannschen Papierskala 2 E mit dem Teilstrich 39 der Skala D in Übereinstimmung und klebt den bereits gummierten Skalenstreifen 2 E, wie es Abb. 108 zeigt, auf den Karton.

In dieser für die betreffende Kombination ein und für alle Male festen Stellung der

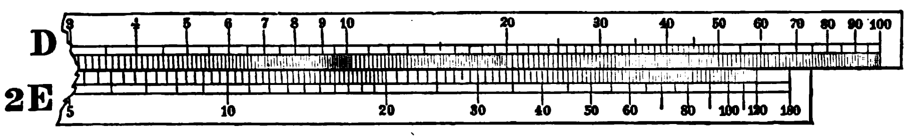


Abb. 108. Schwarzmannsche Achsenwinkelskala.

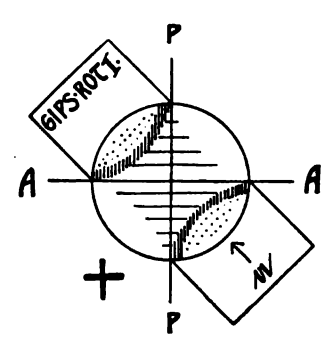


Abb. 109. Positiver Charakter der Doppelbrechung eines zweiachsigen Kristalls, bestimmt an dem Achsenbild eines Schnittes senkrecht zur ersten Mittellinie mit Gips vom Rot I. Ordnung.

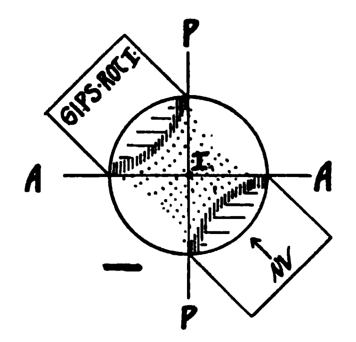


Abb. 110. Negativer Charakter der Doppelbrechung eines zweiachsigen Kristalls, bestimmt an dem Achsenbild eines Schnittes senkrecht zur ersten Mittellinie mit Gips vom Rot I. Ordnung.

Skala entspricht nun jedem anderen gemessenen Werte von d auf der B-Teilung ein Wert von 2 E auf der unteren Teilung. Die Messung wird zweckmäßig in Natriumlicht ausgeführt, da die Pole der Hyperbeln bei mikroskopischen Präparaten sowieso nicht sehr scharf sind und auch oft dispergiert sein können.

38. Bestimmung des Charakters der Doppelbrechung zweiachsiger Mineralien im konvergenten polarisierten Licht. Die Bestimmung hat natürlich nur dann Wert, wenn man genau weiß, ob der betr. Schnitt senkrecht zur ersten oder senkrecht zur zweiten Mittellinie geschnitten ist.

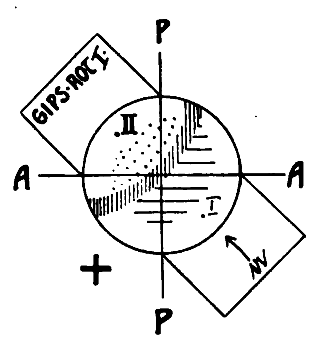


Abb. 111. Positiver Charakter der Doppelbrechung eines zweiachsigen Kristalls, bestimmt am Achsenbild senkrecht zu einer optischen Achse mit Gips vom Rot I. Ordnung.

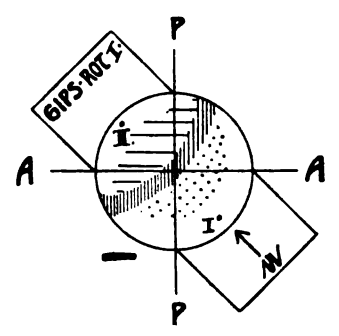


Abb. 112. Negativer Charakter der Doppelbrechung eines zweiachsigen Kristalls, bestimmt am Achsenbild senkrecht zu einer optischen Achse mit Gips vom Rot I. Ordnung.

Durch Kombination des Gips-, Glimmer- oder Quarz-Plättchens treten auch hier in den abwechselnden Quadranten Erhöhung oder Erniedrigung des Gangunterschiedes und damit der Interferenzfarbe ein, die Schlüsse zulassen auf die gleiche oder gekreuzte Stellung gleicher Schwingungsrichtungen im Kompensator und Präparat und so den Charakter der Doppelbrechung bestimmen lassen.

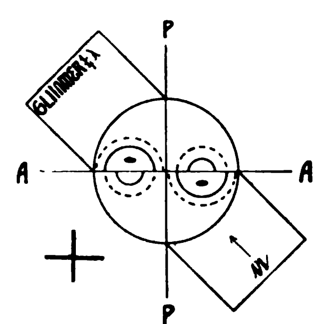


Abb. 113. Positiver Charakter der Doppelbrechung eines zweiachsigen Kristalls, bestimmt am Achsenbild senkrecht zur ersten Mittellinie mit ¼ Undulations-Glimmerplättchen.

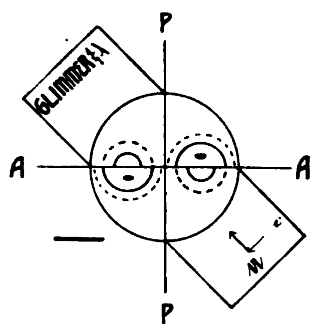


Abb. 114. Negativer Charakter der Doppelbrechung eines zweiachsigen Kristalls, bestimmt am Achsenbild senkrecht zur ersten Mittellinie mit ¼ Undulations-Glimmerplättchen.

Das Einschieben des Gipsplattes vom Rot I. Ordnung verändert die Hyperbeln des in der Diagonalstellung befindlichen Interferenzbildes zu Rot I. Ordnung, die Teile der Quadranten, wo gleichartige Schwingungsrichtungen mit dem Gipsplatt parallel liegen, in Blau II. Ordnung, die beiden anderen Quadranten, wo gleichartige Schwingungsrichtungen gekreuzt sind, in Gelb I. Ordnung. Die Erscheinung bei einem positiven Kristall zeigt Abb. 109, bei einem negativen Kristall Abb. 110. Auch wenn nur eine Achse im Gesichtsfeld erscheint, kann man den Charakter noch auf diese Art bestimmen. Ist der wahre Winkel 2 V, nämlich nicht ganz nahe = 90°, so zeigt die Hyperbel immer eine merkliche Krümmung und zwar weist der konkave Teil zur zweiten, der konvexe Teil aber zur spitzen oder ersten Mittellinie hin. Die Verteilung der Farben, die Abb. 111 für einen positiven, Abb. 112 für einen negativen Kristall zeigt, läßt den Charakter bestimmen. Das Gipsplatt ist wie bei einem einachsigen Mineral auch hier wieder dann anzuwenden, wenn es sich um Mineralien von geringer Doppelbrechung handelt. Liegt ein Inter-

ferenzbild vor mit vielen isochromatischen Kurven, wo also der Gangunterschied wegen starker Doppelbrechung oder erheblicher Dicke des Präparates hoch ist, wendet man besser das 1/4 Und. Glimmerplättchen an. Man bestimmt den Charakter in der Normalstellung des Interferenzbildes. Es treten hierbei wieder die schwarzen Punkte auf und abwechselnde Erweiterung der isochromatischen Kurven (Abb. 113 und 114).

c) Die Universal- oder Theodolitmethode von E. von Fedorow.

39. Prinzip der Methode und Apparate.

Die Anwendung dieser Methode ist an das Universal- oder Theodolithmikroskop geknüpft, von dem ein neueres Modell S. 21 beschrieben wurde. Der Objekttisch dieses Mikroskops ist ein mehrkreisiger Drehtisch, mit dem das Präparat um jede mögliche Achse im Raum gedreht werden kann, wodurch das in Richtung der Mikroskopachse einfallende Licht das Präparat in den verschiedensten Richtungen zu durchlaufen vermag. Die Bestimmungen werden stets im parallelstrahligen Licht ausgeführt. Um die Korrektionen, die infolge der eintretenden Brechungen bei schiefstehendem Präparat möglichst zu verringern, und um die Totalreflexion zu verhindern, die bei größeren Neigungen des Präparats die Bestimmungen unmöglich machen würde, wird unmittelbar unter und über dem Dünnschliff je eine Glashalbkugel angebracht, die mittels einer genügend stark lichtbrechenden Flüssigkeit an dem Schliff anhaftet.

40. Ausführung der Bestimmungen.

Man kann auf zweierlei Weise die Bestimmungen ausführen: einmal kann man die „Kurven gleicher Auslöschung"[22]) ermitteln, und ihre Eigenschaft benützen, sich sämtlich in den beiden optischen Achsen zu schneiden. Infolge des Umstandes, daß das einfallende Licht nie genau parallel ist, ergibt sich ein Fehler beim Bestimmen der Auslöschungslage, der von merklicher Größe ist. Deshalb ist diese Methode nicht sehr zu empfehlen.

Nach der andern Methode ermittelt man direkt die Lage der optischen Symmetrieebenen und der optischen Achsen. Es haben nämlich alle Flächen, die in der Zone einer optischen Symmetrieachse liegen, gleiche Auslöschung, und die Schnitte senkrecht einer optischen Achse verändern infolge der konischen Refraktion bei einer vollen Umdrehung um die Mikroskopachse ihre Interferenzfarbe nicht.

Ebenso kann man die Lage kristallographisch wichtiger Richtungen, wie von Spaltrissen, Kristallkanten, Zwillingsebenen und -achsen, auf die man die Orientierung der optisch wichtigen Richtungen oft bezieht, mit Hilfe der Theodolitmethode feststellen.

Die Ergebnisse der Bestimmungen werden graphisch verwertet, entweder auf dem stereographischen Netz nach E. v. Fedorow, oder auf der Kugelprojektion nach W. Nikitin. Der genauere Gang der Bestimmungen, der eingehende Kenntnisse in den Projektionsmethoden voraussetzt, kann an dieser Stelle nicht gegeben werden. Es sei verwiesen auf die im Literaturverzeichnis erwähnte französische Übersetzung des Werkes von W. Nikitin (übersetzt von L. Duparc und V. de Dervies) über die v. Fedorowschen Methoden. Eine deutsche Darstellung dieser neueren Methodik gibt es noch nicht.

[22]) Die „Kurven gleicher Auslöschung" wurden hier nicht weiter behandelt, da zu ihrer Ableitung und Diskussion die Verwendung der stereographischen Projektion nötig ist, was im Rahmen dieser Schrift zu weit geführt hätte.

d) Optischer Schlüssel zur Bestimmung des Kristallsystems inaktiver Kristalle unter dem Mikroskop.

41. Vorbemerkungen. Im „optischen Schlüssel" auf S. 87 sind die wichtigsten Merkmale kristallisierter Körper unter dem Polarisationsmikroskop zusammengestellt, aus denen auch die Zugehörigkeit einer kristallisierten Substanz zu einem der Kristallsysteme geschlossen werden kann.

Der Schlüssel lehnt sich an ähnliche von E. Kaiser, G. Linck und E. Weinschenk mitgeteilte an.

Die in [ ] gesetzten Zahlenausdrücke beziehen sich auf den Fall, daß orientierte Schliffe vorliegen, d. h. Schliffe, die senkrecht zu den optischen Symmetrieachsen geschnitten sind, wie sie von verschiedenen Firmen für mineralogische Lehrmittel in den Handel gebracht werden.

Undurchsichtige Körper.

1. Allgemeines. Ein Körper wird undurchsichtig genannt, wenn er schon in sehr dünnen Schichten alles auf ihn fallende Licht teils absorbiert, teils reflektiert. Es gibt nun unter diesen undurchsichtigen Körpern zahlreiche, die im hexagonalen, tetragonalen, rhombischen, monoklinen oder triklinen System kristallisieren, die also für optische Vorgänge anisotrop sein müssen. Diese Anisotropie kann wegen der Undurchsichtigkeit nur im reflektierten Licht wahrgenommen werden. Das auffallende natürliche Licht wird bei der Reflexion in zwei reflektierte, senkrecht zueinander schwingende Komponenten zer-

42. Optischer Schlüssel zur Bestimmung des Kristallsystems inaktiver Kristalle.

Verhalten verschiedener Durchschnitte im linear polarisierten Licht bei gekreuzten Nicols

<table>
<tr><th colspan="2"></th><th colspan="2">Im parallelen polarisierten Licht</th><th colspan="2">Im konvergenten polarisierten Licht</th><th colspan="2">Strukturlinien</th><th>System</th></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">Optisch isotrop (einfach brechend)</td><td colspan="4" rowspan="2">Alle [drei] Schliffe bleiben bei einer vollen Umdrehung dunkel
(Ausnahmen durch optische Anomalien: Fleckige Aufhellung, Gitterlamellierung; aber keine einheitliche Aufhellung).</td><td colspan="2">Keine geradlinige Umgrenzung, Spaltbarkeit, Struktur</td><td>Amorphe Körper</td></tr>
<tr><td colspan="2">Kristallform, Spaltbarkeit, gesetzmäßige Struktur, Ätzfiguren</td><td>Regulär</td></tr>
<tr><td rowspan="5">Optisch anisotrop (doppelbrechend)</td><td rowspan="2">einachsig</td><td rowspan="5">Neben Schnitten, die bei einer vollen Umdrehung gleichmäßig dunkel oder hell bleiben, finden sich andere, die viermal hell und dunkel werden.</td><td rowspan="2">Die meisten [zwei] Schliffe werden beim Drehen viermal hell und dunkel. Sie besitzen stets gerade oder symmetrische Auslöschung. Einige [ein] bleiben bei einer vollen Umdrehung dunkel.</td><td colspan="2" rowspan="2">Die [der] dunkelbleibenden Schnitte und die mit den niedrigsten Interferenzfarben geben das Achsenbild einachsiger Körper.
(Achsenbild nicht sichtbar bei sehr schwacher Doppelbrechung. Durch Anomalien (Druck) schwach zweiachsig.</td><td rowspan="2">Die [der] dunkelbleibenden Schnitte und die mit den niedrigsten Interferenzfarben zeigen eine regelmäßige Umgrenzung oder Spaltbarkeit von</td><td>vier- oder achtseitiger Gestalt</td><td>Tetragonal</td></tr>
<tr><td>drei-, sechs-, neun-, zwölfseitiger Gestalt</td><td>Trigonal Hexagonal</td></tr>
<tr><td rowspan="3">zweiachsig</td><td rowspan="3">Die meisten Schnitte beim Drehen viermal hell und dunkel, daneben welche, die beim Drehen gleichmäßig hell bleiben.</td><td>Alle [drei] Schnitte haben gerade oder symmetrische Auslöschung.</td><td rowspan="3">Die Schnitte mit den niedrigsten Interferenzfarben geben das Achsenbild senkrecht zur spitzen Mittellinie, die gleichmäßig hell bleibenden Schnitte zeigen den Austritt einer optischen Achse.</td><td>Nur Dispersion der optischen Achsen. Achsenbild bisymmetrisch.</td><td colspan="2" rowspan="3"></td><td>Rhombisch</td></tr>
<tr><td>Eine Zone [zwei Schnitte] mit gerader Auslöschung. Viele [ein] Schnitte schief auslöschend.</td><td>Dispersion der optischen Achsen, und zweier optischer Symmetrieachsen:
geneigte Dispersion } Achsenbild monosymmetrisch
horizontale „
gekreuzte „ Achsenbild asymmetrisch</td><td>Monoklin</td></tr>
<tr><td>Alle Schnitte haben schiefe Auslöschung.</td><td>Dispersion der optischen Achsen und optischen Symmetrieachsen. Achsenbild asymmetrisch.</td><td>Triklin</td></tr>
</table>

legt[23]). Beide sind ihrer Phase nach verschieden, d. h. sie zeigen einen Gangunterschied, der aber von der Dicke der darunter liegenden Schicht unabhängig ist, und von sehr viel kleinerer Größenordnung als bei durchsichtigen anisotropen Körpern. Daneben tritt aber auch noch eine Verschiedenheit der beiden reflektierten Komponenten in bezug auf ihre Amplitude, also auch auf die Intensität auf.

2. **Vertikalilluminator zur Untersuchung undurchsichtiger Körper.** (Siehe auch S. 32—34.) Über den Linsen des Objektivs befindet sich ein totalreflektierendes Prisma P (Abb. 115), das durch einen seitlichen Ausschnitt beleuchtet wird und Licht durch das Objektiv, das zugleich für das Präparat auch als Kondensor wirkt, auf das Präparat wirft. Da das Prisma exzentrisch im Tubus sitzt, kann das vom Präparat nach oben reflektierte Licht zum Teil ins Mikroskop gelangen und so ein Bild von der Oberfläche des undurchsichtigen Körpers vermitteln.

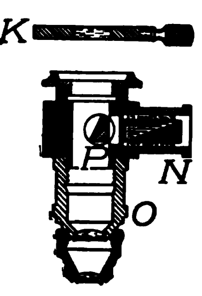


Abb. 115. Vorrichtung zur Erkennung optischer Anisotropie.

3. **Erkennung der optischen Anisotropie undurchsichtiger Körper.** Die Vorrichtung nach J. Koenigsberger zeigt Abb. 115. Vor dem totalreflektierenden Prisma ist ein Nicol N mit horizontaler Schwingungsrichtung. Im Tubus des Mikroskops ist eine Quarzplatte K von 3,75 mm Dicke, die senkrecht zur Achse geschnitten ist, sowie der Analysator. Der Analysator wird so gedreht, daß das Gesichtsfeld bei der Reflexion des Lichtes an einer isotropen Fläche (Glasplatte, Silberspiegel) violett gefärbt ist (infolge der Zirkularpolarisation des Quarzes, vergl. S. 58). Wird das Licht an einer anisotropen Fläche reflektiert, so zeigt das Gesichtsfeld an diesen Stellen eine rote oder blaue, bei stärkerer Anisotropie hellgelbe oder grüne Färbung, die in den 45°-Stellungen des Präparats am größten ist, in den Normalstellungen aber verschwindet.

4. **Messung der optischen Anisotropie undurchsichtiger Körper.** Diese eben beschriebene Vorrichtung läßt sich nicht zur Messung verwenden, da sowohl der Gangunterschied als auch der Intensitätsunterschied beider reflektierten Strahlen gleichzeitig wirken.

J. Koenigsberger[24]) hat dazu eine Vorrichtung konstruiert, die vermittels einer Doppelkalkspatplatte, der sogen. Savartschen Platte, die Verschiedenheit der Amplitude oder Intensität der beiden reflektierten Strahlen zu messen gestattet. Über die nähere Einrichtung, Wirkungsweise und die Vorsichtsmaßregeln vergleiche die unten zitierten Abhandlungen.

5. **Objekte und Präparate.** Unter den Mineralien sind die gediegenen Metalle und die Erze schon in sehr dünnen Schichten undurchsichtig. Auch die Meteoriten enthalten viele undurchsichtige Komponenten. Diese Objekte der Mineralogie sind daher, wenn es sich um genauere Beobachtung der Verbandsverhältnisse, und der Zusammensetzung handelt, im auffallenden Licht zu untersuchen. Einen großen Aufschwung in neuerer Zeit nahm diese Methodik in der Metallographie. Es sei hier auf die diesbezüglichen Lehrbücher verwiesen, besonders W. Guertler: Metallographie. Berlin 1909. (Mehrere Bände, noch im Erscheinen.)

Ebenso kann auf die ziemlich komplizierten Herstellungsweisen der Präparate, die neben der Anfertigung von planen Flächen, von Polituren verschiedener Art auch noch Ätzmethoden umfassen, hier nicht weiter eingegangen werden. Winke hierzu sind ebenfalls in dem angeführten Werk von Guertler enthalten.

Es sei noch darauf hingewiesen, daß außer diesen Objekten sich auch oft eine Betrachtung der Ätzfiguren an durchsichtigen wie undurchsichtigen Kristallen im auffallenden Lichte lohnt. Sie entstehen durch Einwirkung von Lösungsmitteln auf kristallisierte Stoffe, und geben ein genaues Abbild ihrer kristallographischen Symmetrie und Struktur.

[23]) Bezüglich der bei monoklinen und triklinen Körpern dabei eintretenden geringen elliptischen Polarisation vgl. F. Pockels, Lehrbuch der Kristalloptik, 1906.

[24]) J. Koenigsberger, Centralbl. f. Mineralogie 1908, S. 565 und 1909, S. 245.

Siebzehntes Kapitel.

Anwendungsbereich der Bestimmungsmethoden mit Hilfe des Polarisationsmikroskops auf die verschiedenen Objekte.

Nachdem im Vorhergehenden die Methoden beschrieben worden sind, nach denen mit Hilfe des Polarisationsmikroskops physikalische Konstanten kristallisierter Körper bestimmt werden können, erübrigen nun noch einige Angaben darüber, wie weit sich die verschiedenen kristallisierten Stoffe zu diesen Bestimmungen eignen, und welche Methoden in einzelnen Fällen zur Anwendung gelangen können.

Da ist zunächst der doppelte Charakter des Polarisationsmikroskops hervorzuheben, der sich auch in der geschichtlichen Entwicklung seiner Anwendung ausprägt: einmal der eines Hilfsinstrumentes zur qualitativen Diagnostizierung und Identifizierung schon bekannter Stoffe, andererseits der eines universellen exakten Meßapparates, der physikalische Konstanten der verschiedensten Art mit einer immerhin recht erheblichen Genauigkeit quantitativ zu bestimmen gestattet.

Die mineralogische Zusammensetzung der Gesteine und Mineralaggregate, sowie die gegenseitigen Verbandsverhältnisse der Komponenten — Struktur und Textur — können mit wünschenswerter Genauigkeit nur mikroskopisch erkannt werden. — Bietet die Feststellung von Struktur und Textur Anlaß zu rein qualitativen Beobachtungen, so erfordert die Erkennung der die Gesteine zusammensetzenden Komponenten, die Mineralbestimmung, sowohl qualitative Beobachtungen als auch quantitative Messungen.

Zu den hierhergehörigen qualitativen Beobachtungen gehören:

Form, Habitus,
Spaltbarkeit,
Einschlüsse,
Farbe, Pleochroismus,
Einfachbrechend oder doppelbrechend,
Einachsig oder zweiachsig,
Charakter der Doppelbrechung,
Dispersion.

Im allgemeinen wird man bei dem Gang der Untersuchung zuerst diese qualitativen Beobachtungen vornehmen, um dann erst zu quantitativen Messungen überzugehen, zu denen zu rechnen sind:

Längen-, Dicken-, Winkelmessungen,
Messung der Brechungsindizes,
Messung der Höhe der Doppelbrechung,
Messung des Auslöschungswinkels,
Messung des Winkels der optischen Achsen.

Es liegen mehrere Tabellen vor, in denen die mikroskopischen Eigenschaften und physikalischen Konstanten gesteinsbildender Mineralien verzeichnet sind, so in den im Literaturverzeichnis genannten Werken von H. Rosenbusch, E. Weinschenk, J. P. Iddings.

Für die Mineralien der deutschen Kalisalzlager hat H. E. Boeke ähnliche Tabellen zusammengestellt.

Die Eigentümlichkeit der petrographischen Untersuchungen besteht in der Art der zu untersuchenden Präparate, der Dünnschliffe, die ganz regellose Durchschnitte durch die verschiedenen Mineralien geben. — Man kann zwei Wege der Diagnose einschlagen:

Einmal stellt man die Orientierung eines beliebigen Schnittes zu kristallographisch bestimmten Richtungen annähernd fest — mit Hilfe von Spaltrissen, Winkelmessungen, Wechsel der Interferenzfarbe bei schiefer Beleuchtung, Achsenbildern — und extrapoliert die gemessenen Werte der Auslöschungsschiefe, Doppelbrechung auf die in den Tabellen verzeichneten Werte in Richtung der optischen Symmetrieachsen. Dieser Weg ist oft mit praktischen Schwierigkeiten verknüpft und setzt ein hohes Maß von kristalloptischen Kenntnissen voraus, insbesondere läßt er sich ohne Verwendung der stereographischen Projektion kaum durchführen. Es wurde deshalb diese Methode in vorliegender Schrift nicht weiter berücksichtigt.

Der zweite Weg besteht darin, aus einer größeren Anzahl von Durchschnitten mit Hilfe von Spaltrissen, Winkelmessungen, Wechsel der Interferenzfarbe bei schiefer Beleuchtung, Achsenbildern, — die Schnitte herauszusuchen,

die senkrecht zu einer optischen Symmetrieachse liegen, und diese allein zu berücksichtigen. Dieser Weg ist der leichtere, auch für weniger Geübte sicherer ans Ziel führende. Er setzt eine größere Anzahl von Durchschnitten desselben Minerals voraus, was meist wohl auch der Fall ist.

Die Objekte dieser — wie sie genannt werden mag — petrographischen Untersuchungsmethode liefert keinesfalls allein die Petrographie, und ihre benachbarten Wissenszweige, wie Mineralogie, Geologie, Erzlagerstättenkunde. Mit großem Erfolg wurde sie z. B. in den letzten Jahren zur Untersuchung von Salzlagerstätten, insbesondere der deutschen Kalisalze, angewandt, etwas älter ist ihre Verwendung bei bautechnischen Gesteinsuntersuchungen. Aber auch im Laboratorium, bei der Untersuchung der Produkte der Mineral- und Gesteinssynthese, wo man häufig Aggregate verschiedener Stoffe erhält, hat sie bereits beste Erfolge ergeben, und zwar nicht nur bei der Untersuchung von Silikaten und Karbonaten, sondern auch von wasserlöslichen Salzen, wie Haloiden, Sulfaten usf. (vgl. die Herstellung von Dünnschliffen wasserlöslicher Salze S. 38).

Eine z. T. andere Methodik verlangt die mikroskopische Untersuchung von einzelnen Mineralien, und synthetisch dargestellter kristallisierter Stoffe. Hier ist zwar die „petrographische Methode" nicht ganz auszuschließen. So hat man oft z. B. Sande in Kanadabalsam eingekocht, und sie dann dünngeschliffen, worauf sie analog den Dünnschliffen fester Gesteine sich untersuchen ließen. Aber solche lose Massen von Einzelindividuen lassen noch andere Methoden zu, die bei Aggregaten ohne weiteres nicht möglich sind. So ist die Bestimmung der Lichtbrechung nach der Einbettungsmethode nur an losen Körnchen auszuführen; die zur Bestimmung der Doppelbrechung nötige Dickenbestimmung läßt sich an ihnen viel genauer vornehmen. Vor allem aber besteht die Möglichkeit, sich orientierte Präparate herzustellen, teils durch Dünnschleifen parallel eventuell vorhandener Kristallflächen teils durch Herstellung von Spaltplättchen. Diese orientierten Präparate werden ebenfalls zu den weiteren Untersuchungen in Kanadabalsam, oder wenn es sich nicht um Dauerpräparate handelt, in Nelkenöl eingebettet, das denselben Brechungsindex wie Kanadabalsam hat, und auch sonst in der Verwendung sehr angenehm ist (sehr unveränderlich an Licht und Luft, geringe Dampfspannung, billiger Preis).

Man wird auf diese Weise oft dickere Präparate erhalten, als die Dünnschliffe es sind, was aber bei vielen Bestimmungen durchaus kein Nachteil ist (Pleochroismus, Achsenwinkel). Für andere Beobachtungen (Doppelbrechung, innere Beschaffenheit) sind freilich dünnere Präparate oft erwünschter.

Der Anwendungsbereich dieser Methodik ist ein noch größerer als der der petrographischen Dünnschliffuntersuchung. Denn nicht nur können die meisten Objekte der Petrographie und der oben angeführten verwandten Wissenschaften durch Zerkleinern und Separieren nach den mannigfachsten mechanischen, magnetischen und chemischen Methoden in ihre Einzelkomponenten zerlegt werden, sondern auch alle künstlichen wie natürlichen Studienobjekte des Mineralogen, Kristallographen und Chemikers sind hierzu geeignet. Seitdem in P. Groth's „Chemischer Kristallographie" ein Werk vorliegt, das systematisch außer den kristallographischen auch alle optischen Daten anorganischer und organischer Salze sammelt, ist die Identifizierung dieser Stoffe mit Hilfe von kristalloptisch-mikroskopischen Methoden sehr erleichtert.

Handelte es sich bis jetzt nur um die Identifizierung von Stoffen mit Hilfe ihrer bereits bekannten kristalloptischen Konstanten, so kann aber auch oft der Fall eintreten, daß man in ihren Eigenschaften noch unbekannte Körper vor sich hat, die aber in derartiger Form vorliegen, daß sie nur mikroskopisch untersucht werden können. Man denke z. B. an die Produkte der Mineralsynthese. Gut ausgebildete, größere Kristalle, die goniometrisch sich ausmessen lassen, deren optische Konstanten mit Hilfe von Refraktometer und Achsenwinkelapparat zu bestimmen sind, werden in den seltensten Fällen erhalten. Dagegen kann immer die allgemeine optische und kristallographische Charakteristik mit Hilfe des Polarisationsmikroskops angegeben werden, und in den meisten Fällen gestatten die in ihren mechanischen Teilen so außerordentlich verfeinerten großen modernen Mikroskoptypen — besonders wenn man im monochromatischen Licht arbeitet — eine ausreichende Zahl optischer Konstanten, wenn nicht gar alle — zu bestimmen. Man wird sich,

wenn irgend möglich, hierzu orientierter Schliffe oder Spaltplättchen bedienen, aber auch die Dünnschliffmethode führt zum Ziel.

Somit kann die kristalloptische Charakterisierung auch aller im Laboratorium erhaltenen Substanzen mit Hilfe des Polarisationsmikroskops nicht warm genug empfohlen werden. Abgesehen davon, daß die hierdurch erlangten Konstanten für die Kennzeichnung eines Stoffes notwendig sind, ist auch seine spätere Wiedererkennung mit ihrer Hilfe oft so rasch und einfach durchgeführt, wie es eine analytische Methode nur selten vermag.

Auch in der Hand des Chemikers müßte das Polarisationsmikroskop das täglich gebrauchte, arbeitserleichternde und zeitsparende Instrument werden, das es für den Mineralogen und Petrographen schon lange ist.

Literaturverzeichnis.

L. Duparc et F. Pearce: Traité de technique minéralogique et pétrographique. I. Partie: Les méthodes optiques. Leipzig 1907. 483 S. 516 Abb.

P. Groth, Physikalische Kristallographie. 4. Aufl. 1905. 801 S., 750 Abb.

F. M. Jaeger: Eine Anleitung zur Ausführung exakter physiko-chemischer Messungen bei höheren Temperaturen. Groningen 1913. 152 Seiten, 35 Abb.

I. P. Iddings: Rock Minerals, their chemical and physical characters and their determinations in their sections. Sec. Ed. New York 1911. 617 S.

E. Kaiser: Mineralogisch-petrographische Methoden. 173 S., 77 Abb. Aus: K. Keilhack: Lehrbuch der praktischen Geologie. 2. Auflage. 1908.

F. Klockmann: Lehrbuch der Mineralogie. 5. u. 6. Aufl. 1912. 628 S., 562 Abb.

Th. Liebisch: Physikalische Kristallographie. Leipzig. 1891. 614 S., 298 Abb., 9 Taf.

Th. Liebisch: Grundriß der physikalischen Kristallographie. Leipzig 1896. 506 Seiten, 898 Abb.

G. Linck: Grundriß der Kristallographie. 2. Auflage. Jena 1908. 255 S., 604 Abb.

W. W. Nikitin: La méthode univers. de Fedoroff. Descript. systém. de la marche des opérations à effectuer pour la déterminat. d. constantes optiques d. mineraux. Traduct. franc. p. L. Duparc et V. de Dervies. Tomes I et II avec atlas. Genéve 1918.

F. Pockels: Lehrbuch der Kristalloptik. 1906. Leipzig. 516 S., 168 Abb.

F. Rinne: Elementare Anleitung zu kristallographisch-optischen Untersuchungen vornehmlich mit Hilfe des Polarisationsmikroskops. Leipzig 1912. 161 S., 368 Abb.

E. Sommerfeld: Praktikum der experimentellen Mineralogie. Berlin 1911. 192 Seiten, 61 Abb.

E. Weinschenk: Anleitung zum Gebrauch des Polarisationsmikroskops. 3. Aufl. Freiburg i. Br. 1910. 164 S., 167 Abb.

F. E. Wright: The methods of petrographic-microscopic research, their relative accuracy and range of application. Washington 1911. 204 S. 118 Abb.

E. A. Wülfing: Allgemeiner Teil. Aus: H. Rosenbusch u. E. A. Wülfing: Mikroskopische Physiographie der petrographisch wichtigen Mineralien. 4. Aufl. Stuttgart 1904. Erste Hälfte. 467 S., 286 Abb., 17 Taf.

Sach- und Autorenverzeichnis.

Bezugsquellen-Liste:

Polarisations-Mikroskope

zur Untersuchung von Kristallen und Gesteinen
fertigen in deutsch-sprachigen Ländern fabrikationsmässig an:

R. Fuess in Berlin-Steglitz
Franz Hugershoff in Leipzig
E. Leitz in Wetzlar
C. Reichert in Wien
W. & H. Seibert in Wetzlar
Dr. Steeg & Reuter in Homburg v. d. H.
R. Winkel in Göttingen
C. Zeiss in Jena

Sonstige Apparate und Utensilien

für die Untersuchung kristallisierter Körper und

Mineralien

sind zu beziehen durch:

R. Fuess in Berlin-Steglitz
Heidelberger Mineralien-Comptoir in Heidelberg
Dr. Fr. Krantz, Rheinisches Mineralien-Kontor in Bonn a. Rh.
Heinrich Menn, Mineralien-Handlung in Idar/Nahe
Dr. Paul Michaëlis, Sächs. Mineralien- und Lehrmittel-Handlung in Dresden-Blasewitz
Dr. Steeg & Reuter in Homburg v. d. H.
Voigt & Hochgesang, Fabrik für Dünnschliffe von Gesteinen in Göttingen